PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 23. 1. Dezember 1919. 20. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 1 am 15. Dezember 1919.

INHALT:

Originalmitteilungen:

O. Hahn u. L. Meitner, Der Ursprung des Actiniums. S. 529.

M. Siegbahn, Über das Röntgenspektrum von Wolfram. S. 533.

P. Metzner, Über durch rotierende lineare Körper hervorgerufene Flüssigkeitsströmungen. S. 536.

L. Pungs u. G. Preuner, Verfahren zur Messung sehr kleiner Kapazitäten und Induktivitäten. S. 543.

F. Zerner, Die gastheoretische Korrektur des Stokesschen Gesetzes. S. 546.

G. Laski, Über achsenparallele Kernschwingungen in Bohrschen Molekülen. S. 550.

H. Maurer, Bemerkung zu dem Aufsatze: „Zur Mechanik des Freiballons von F. Jentzsch-Gräfe". S. 551.

Personalien. S. 552.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1919/20. S. 553.

Angebote. S. 560.

Gesuche. S. 560.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Der Ursprung des Actiniums.

Von Otto Hahn und Lise Meitner.

Das Actinium wird heute allgemein als Zweigprodukt des Urans betrachtet. Eines der Glieder der Uranreihe besitzt zwei Zerfallsmöglichkeiten, deren eine über das Radium zu dem als *RaG* bezeichneten Bleiisotop führt, während die andere die Actiniumreihe liefert. Obwohl diese Auffassung als feststehend in alle radioaktiven Lehrbücher übergegangen ist, ist das zu ihrer Begründung vorhandene experimentelle Material recht ungenügend. Die Berechtigung der Einreihung des Actiniums in die Uranreihe erfordert zunächst die Beantwortung zweier Fragen, und zwar erstens: Ob Actinium ein konstanter Bestandteil aller Uranmineralien ist, und zweitens: Welchen Zahlenwert das konstante Aktivitätsverhältnis Actinium/Uran besitzt. Die weitere Aufgabe, das Glied der Uranreihe festzulegen, an dem die Abzweigung eintritt, ist logischerweise erst nach der Beantwortung der genannten Fragen in Angriff zu nehmen. Die einzige experimentelle Unterlage für die Entscheidung dieser beiden Fragen bildete bis vor kurzem eine Arbeit von B. Boltwood[1]) aus dem Jahre 1908, in der das Verhältnis $Ac:U$ in zwei verschiedenen Pechblenden nach je 2 verschiedenen Methoden untersucht worden war. Die vier erhaltenen Werte zeigen untereinander Abweichungen von mehr als 100 Proz., was leicht zu verstehen ist, wenn man berücksichtigt, daß zu der damaligen Zeit die Chemie der Radioelemente im allgemeinen sehr wenig ausgebildet war, und daß die Chemie des Actiniums auch heute noch sehr große Schwierigkeiten bietet. Aus dem Durchschnittswert der von Boltwood erhaltenen Zahlen berechnete dann Rutherford, daß nur 8 Proz. der Uranatome in die Actiniumreihe übergehen, während die übrigen 92 Proz. bei ihrem Zerfall die Radiumreihe bilden. In neuerer Zeit ist die Frage von Fußler[1]) untersucht worden, und zwar durch Bestimmung des Verhältnisses $Ac:U$ in 2 Carnotiten aus Colorado. Es wurden 3 Bestimmungen ausgeführt, die in willkürlichem Maß gemessen für die relative α-Aktivität der Actiniumreihe die Werte 135, 176 und 107 ergaben, also auch Abweichungen untereinander von 60 Proz. aufweisen.

Man kann in diesen Resultaten wohl eine Bestätigung des genetischen Zusammenhangs zwischen Actinium und Uran sehen. Eine Sicherung des Zahlenwertes des Abzweigungsverhältnisses bietet aber diese Arbeit nicht. Das scheint auch die Ansicht des Verfassers selbst gewesen zu sein, da er, obwohl seine Werte bedeutend niedriger sind als die Boltwoodschen, auf diesen Punkt in seiner Arbeit gar nicht eingeht[2]).

Eine genaue Kenntnis des Abzweigungsverhältnisses ist aber für verschiedene prinzipielle Fragen von Bedeutung.

Es schien uns daher wünschenswert, eine nochmalige Bestimmung des Verhältnisses $Ac:U$ auszuführen. Die Auffindung des Protactiniums, der Muttersubstanz des Actiniums, bot auch viel günstigere Bedingungen für die Bestimmung dieses Verhältnisses. Es ist natürlich klar, daß das Verhältnis Protactinium: Uran in Mineralien denselben Wert besitzen muß wie Actinium zu Uran. Die Bestimmung mittels des Protactiniums bietet gegenüber dem Actinium zwei große Vorteile. Erstens ist noch immer keine einwandfreie Methode zur quantitativen chemischen Abtrennung des Actiniums bekannt. Die häufig angewendete Ammoniakfällung des

1) B. Boltwood, Amer. Journ. of Science (4) **25**, 269—298, 1908.

1) K. H. Fußler, Phys. Rev. (2) **9**, 142—146, 1917.

2) Nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn Prof. St. Meyer hat er eben auch die Konstanz des Verhältnisses $Ac:U$ untersucht und bestätigt.

Actiniums ist durchaus unzuverlässig[1]). Zweitens besitzt Actinium keine nachweisbare Strahlung und seine Zerfallsprodukte, durch deren Strahlung allein die Bestimmung der abgeschiedenen Actiniummengen erfolgt, sind erst nach 4—5 Monaten im Gleichgewichtszustand vorhanden. Demgegenüber zeigt das Protactinium nach unseren Ergebnissen augenscheinlich gut definierte und reproduzierbare chemische Reaktionen. Außerdem besitzt es eine typische α-Strahlung, die die sofortige Bestimmung der abgeschiedenen Protactiniummenge ermöglicht und sich infolge der langsam erfolgenden Nachbildung des Actiniums nur sehr langsam ändert, so daß kein besonders rasches Arbeiten erforderlich ist.

Als Ausgangsmaterial für die Untersuchungen diente österreichische Pechblende mit einem Urangehalt (Element) von 60,7 Proz. Zunächst wurde das bei der Auffindung des Protactiniums verwendete Verfahren benützt. Es werden einige Gramm Pechblende mit Salpetersäure erschöpfend extrahiert. Dabei lösen sich alle radioaktiven Körper einschließlich des Radiums praktisch quantitativ auf. Die unlösliche Kieselsäure enthält neben minimalen Mengen an Polonium (und eventuell RaE und Uran X) nur das Protactinium. Dieses wurde daraus in der früher beschriebenen Weise[2]) hergestellt. Merkwürdigerweise war die so gewonnene Protactiniummenge viel geringer als sich aus dem Urangehalt der verwendeten Pechblende und einem Abzweigungsverhältnis von 8 Proz. für die Actiniumreihe berechnen ließ, und zwar wurde nur etwa ein Viertel der errechneten Menge erhalten. Zwei Möglichkeiten boten sich für die Erklärung dieses Befundes. Entweder konnte ein Teil des Protactiniums in die Salpetersäurelösung gegangen sein, oder der Prozentsatz der Abzweigung ist in Wirklichkeit beträchtlich geringer als bisher angenommen wurde. Ersterer Fall war zunächst der wahrscheinlichere, und wir haben daher die salpetersaure Lösung der Pechblende auf etwa darin vorhandenes Protactinium untersucht. Tatsächlich ließ sich eine ganz beträchtliche Menge darin nachweisen, aber auch bei deren Berücksichtigung blieb die gefundene Menge noch hinter der errechneten weit zurück. Wollte man aus diesem Befund den Schluß ziehen dürfen, daß tatsächlich der bisher angenommene Wert von 8 Proz. für das Abzweigungsverhältnis zu hoch ist, so mußte er auf verschiedenen unabhängigen Abtrennungswegen überprüft werden.

Wir haben deshalb aus Uranpechblende nach verschiedenen Aufschlußmethoden das Protactinium hergestellt, alle dabei erhaltenen Filtrate und Rückstände verarbeitet und die dabei erzielten Gesamtausbeuten an Protactinium untereinander verglichen.

Es kamen drei verschiedene Aufschlußmethoden zur Anwendung. Erstens Aufschluß mit Natriumbisulfat, zweitens Zersetzung des Minerals durch Flußsäure und Schwefelsäure und drittens die schon erwähnte Auflösung durch Salpetersäure. Im ersten und dritten Fall ist die Hauptmenge des Protactiniums im ungelösten Teil zu erwarten, während beim Aufschluß mit Flußsäure das Protactinium in Lösung geht. Da aber diese Reaktionen möglicherweise nicht quantitativ sind, wurden in allen Fällen Lösungen und Ungelöstes gleichermaßen auf Protactinium verarbeitet. Alle diese Abtrennungsmethoden beruhten auf der Annahme, daß das Protactinium den allgemeinen Reaktionen des Tantals folge. Daher wurde vor jeder Teilverarbeitung dem zu untersuchenden Material eine kleine Menge Tantalsäure, meistens 10—20 mg, zugesetzt und diese dann abgeschieden. Wir unterlassen es, hier auf die chemische Verarbeitung genauer einzugehen, da sie an anderer Stelle ausführlich publiziert wird[1]). Es soll hier nur an einem Beispiel der allgemeine Gang der Untersuchung dargelegt werden, etwa an einem Bisulfataufschluß.

2 g Mineral wurden mit 20 mg Tantalsäure gemischt, mit Natriumbisulfat aufgeschlossen und mit Wasser ausgelaugt. Dabei resultiert ein gelöster und ein ungelöster Teil. Der ungelöste Teil soll das Tantal und damit das Protactinium enthalten. Aus diesem ungelösten Teil wurde nun das Tantal von den anderen Substanzen mittels des früher angegebenen Flußsäure-Schwefelsäureverfahrens abgetrennt. Man erhält dabei einen in Flußsäure unlöslichen Teil und die das Tantal und Protactinium nebst gewissen geringen Verunreinigungen enthaltende Flußsäurelösung. Nach Eindampfen und Abrauchen der Lösung wird das Tantal und Protactinium durch Behandlung mit Königswasser von den Verunreinigungen, die dabei in Lösungen gehen, gereinigt. Genau dem gleichen Prozeß wurde auch der in Flußsäure unlösliche und der in Königswasser gelöste Teil unterworfen, weil ja doch geringe Mengen Protactinium sich bei den anderen Substanzen finden könnten. Eben-

1) Ein gutes Hilfsmittel zur Kontrolle, inwieweit bei den einzelnen chemischen Operationen die Abscheidung des Actiniums quantitativ erfolgt, würde die Zugabe des mit Actinium isotopen und durch seine Abklingung scharf charakterisierten β-strahlenden Mesothor 2 bieten.

2) O. Hahn u. L. Meitner, diese Zeitschr. **19**, 208—218, 1918.

1) Chem. Ber. **52**, 1812—1828, 1919.

so wurde mit der ursprünglichen Bisulfatlösung verfahren. Die Summe aller so erhaltenen Protactiniummengen bestimmt den Protactiniumgehalt des Ausgangsmaterials.

Die Kontrolle, daß die mit dem Tantal abgeschiedene Aktivität tatsächlich nur von Protactinium herrühre, geschah einerseits zunächst durch die Feststellung, daß die beobachteten α-Strahlen die für das Protactinium charakteristische Absorbierbarkeit besaßen. Andererseits wurde die Änderung der Aktivität über längere Zeiten messend verfolgt. Unter Beobachtung entsprechender Vorsichtsmaßregeln gelingt es leicht, das Protactinium frei von radioaktiven Verunreinigungen zu erhalten. Nur geringe Mengen von Polonium wurden manchmal mitgerissen, deren Menge sich aber leicht aus der anfänglichen Aktivitätsabnahme solcher Präparate bestimmen ließ.

Um aus den Aktivitätsmessungen auf das Verhältnis Protactinium : Uran schließen zu können, wurden sehr sorgfältige Vergleichsmessungen ausgeführt. Da wir das Protactinium immer nur mit Tantal gemischt erhielten, konnten naturgemäß zum Vergleich mit Uran nicht dicke Schichten, sondern nur möglichst dünne Schichten verwendet werden, wobei durch Variation der Schichtdicke deren Einfluß ausgeschaltet, d. h. auf die Schichtdicke Null extrapoliert werden mußte.

Die zu untersuchende Schicht wurde in folgender Weise hergestellt. Das Material wurde im Achatmörser unter Chloroform möglichst fein zerrieben und dann mit einem feinen Pinsel auf gewogene Aluminiumbleche von 7,5 cm Durchmesser aufgestrichen. Man erhält so befriedigend gleichmäßige Schichten.

Zunächst wurde Uranoxyd von 2—14 mg Gewicht untersucht. Die Messung geschah in der üblichen Weise in einem α-Elektroskop von 4,5 cm Plattenabstand, so daß die Reichweite sowohl der Uran-α-Strahlen als der des Protactiniums voll ausgenutzt wurde. Es zeigte sich, daß die Aktivität pro Milligramm Substanz bei wachsender Schichtdicke, wie zu erwarten, etwas kleiner wurde. Es ergab sich, daß einem Milligramm Uranelement

$$(UI + UII) \; (= 1{,}178 \text{ mg } U_3O_8)$$

bei der Schichtdicke Null die Aktivität 11,7 (in willkürlichen Einheiten) entspricht.

Da nun die verwendete Pechblende 60,7 Proz. Uran enthielt, so mußte die α-Aktivität von $UI + UII$ aus 1 g Pechblende die Aktivität $607 \times 11{,}7 = 7100$ besitzen.

In gleicher Weise wurde auch für die erhaltenen Protactiniumpräparate der Einfluß der Schichtdicke eliminiert. Dabei haftet den gefundenen Werten insofern eine gewisse Unsicherheit an, als die bei der Verarbeitung der Pechblende auf Protactinium zugesetzten Tantalmengen nicht immer ganz gleich waren. Doch sind die dadurch bedingten Abweichungen klein gegenüber den übrigen unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Methode.

Hat nun die aus 1 g Pechblende isolierte Protactiniummenge, unter gleichen Bedingungen wie das Uran gemessen, die α-Aktivität a (auf die Schichtdicke Null extrapoliert), wobei noch die Korrektur auf die verschiedenen Reichweiten angebracht werden muß, so berechnet sich das Abzweigungsverhältnis in Prozenten

$$z = \frac{100\,a \cdot 2}{7100}.$$

Der Faktor 2 rührt davon her, daß beim Uran 2 α-Strahlenprodukte gemessen werden, nämlich UI und UII.

Die Korrektur auf die Reichweite geschah in der Weise, daß die Gesamtionisation den Reichweiten direkt proportional gesetzt wurde, was bei den kleinen Unterschieden in den Reichweiten von Uran und Protactinium auch genügt. Für Uran wurde als Reichweite ein Mittelwert von 2,7 cm angesetzt, für Protactinium der von uns früher gefundene Wert von 3,34 cm. Danach sind die für die Aktivität des Protactiniums gefundenen Werte um 18 Proz. zu verkleinern.

Die erhaltenen Resultate sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt. Die erste Spalte enthält die jeweilig verwendeten Mengen Pechblende, die zweite die Methode der Verarbeitung und die dritte die Summe der direkt gefundenen Aktivitäten für Protactinium, in willkürlichem Maße gemessen. Die vierte, die auf die Schichtdicke Null und die mittlere Reichweite des Urans korrigierten Werte. In der letzten Spalte sind die erhaltenen Werte auf 1 g Pechblende reduziert.

Tabelle.

Verwendete Pechblende	Methode	direkt gefundene Aktivität des *Pa*	auf Schichtdicke und Reichweite korr.	pro 1 g Pechblende
2 g	Bisulfataufschluß	261,7	214.7	107,4
2 g	„	271,4	223	111,5
2 g	„	270,7	221,6	110,8
1 g	Flußsäureaufschluß	126,5	103,8	103,8
2 g	„	271,0	222	111
2 g	Salpetersäurelösung	246	201,8	100,9
			Mittel	107,5

Die erhaltenen Einzelwerte lassen erkennen, daß die nach verschiedenen Aufschlußmethoden gewonnenen Mengen Protactinium in guter Übereinstimmung stehen, so daß die Annahme berechtigt erscheint, daß das Protactinium aus dem Ausgangsmaterial ohne nennenswerte Verluste abgeschieden worden ist. Als Mittelwert ergibt sich die Zahl 107,5, der wohl eine Genauigkeit von mindestens 10 Proz. zuerkannt werden darf. Daraus berechnet sich nach dem weiter oben dargelegten, daß das Abzweigungsverhältnis der Actiniumreihe in Prozenten den Wert

$$z = \frac{100 \cdot 107{,}5 \cdot 2}{7100} = 3{,}06 \text{ Proz.}$$

besitzt, also rund 3 Proz.

Dieser Wert ist beträchtlich geringer als der nach dem Boltwoodschen Befund von Rutherford berechnete Wert von 8 Proz. Man könnte nun einwenden, daß die für das Protactinium angewendeten Abscheidungsverfahren keine quantitativen Ausbeuten liefern. Obwohl es von vornherein unwahrscheinlich ist, daß unsere Methoden, bei der alle Teilprodukte immer wieder verarbeitet wurden, nur etwa ein Drittel des gesamten vorhandenen Protactiniums ergeben sollten, haben wir doch zur Prüfung dieses Punktes einen direkten Kontrollversuch ausgeführt.

Zu diesem Zwecke wurden 2 g Pechblende vor ihrer Aufarbeitung mit einem stark aktiven Protactiniumpräparat versetzt, das wir uns früher aus größeren Mengen Rückständen hergestellt hatten und dessen α-Aktivität durch sorgfältige Messungen festgestellt worden war. Sie hatte in unsern hier verwendeten willkürlichen Einheiten gemessen den Wert 630. Dann wurde das Material in der oben angegebenen Weise durch Aufschluß mit Natriumbisulfat und weitere Behandlung mit Flußsäure und Königswasser auf Protactinium verarbeitet. Das so gewonnene Präparat wies eine Aktivität von 847 auf. Da die im Mittel aus 2 g Pechblende erhaltene direkt gemessene Aktivität nach der obigen Tabelle 262 beträgt, mußte, falls keine nennenswerten Verluste bei der Aufarbeitung auftreten, das Präparat die Aktivität 630 + 262 = 892 besitzen. Der tatsächlich gefundene Wert 847 weicht davon nur um 5 Proz. ab; damit ist die Möglichkeit ausgeschlossen, daß die Abweichung zwischen dem Boltwoodschen und unserem Wert durch Fehler der Abscheidungsmethoden bedingt sein kann. Man darf sogar aus dem eben besprochenen Versuch schließen, daß unser Mittelwert von 3 Proz. sich wahrscheinlich um weniger als 10 Proz. von dem tatsächlichen Wert unterscheidet.

Daß der Wert des Abzweigungsverhältnisses nur 3 Proz. und nicht, wie bisher angenommen wurde, 8 Proz. beträgt, erleichtert die Herleitung der Actiniumreihe aus der Uranreihe über das Bindeglied Uran Y. Uran Y ist ein vierwertiger Körper, der zu einem ganz geringen Prozentsatz aus Uran I oder Uran II entsteht und bei seiner Umwandlung unter Aussendung von β-Strahlen ein fünfwertiges Element bilden muß. Die Annahme, daß dieses fünfwertige Element eben die Muttersubstanz des Actiniums sei, liegt nahe und ist auch von uns und anderen schon vor der Auffindung des Protactiniums gemacht worden. Schwierigkeiten bot dabei nur der Umstand, daß Antonoff[1]), der Entdecker des Uran Y für das Verzweigungsverhältnis Uran Y : Uran den Wert von etwa 2 Proz. gefunden hatte und wir in sehr guter Übereinstimmung damit für dasselbe Verhältnis den Wert 2,1 Proz. angegeben hatten[2]), während für Ac : Uran bisher der Wert 8 Proz. galt. Diese Schwierigkeit ist durch unseren neuen Befund, daß das Verhältnis Protactinium : Uran und damit auch $Ac : U$ nur den Wert 3 Proz. besitzt, behoben. Der Unterschied zwischen 2,1 Proz. und 3 Proz. ist nicht von Bedeutung, wenn man berücksichtigt, daß der Prozentsatz für das Uran Y aus Vergleich der in ihrer Geschwindigkeit sehr verschiedenen β-Strahlen des Uran Y mit denen des Urans X gewonnen wurde und eine richtige Reduktion auf gleiche Geschwindigkeit bei der mangelhaften Kenntnis des Zusammenhanges zwischen Ionisation und Geschwindigkeit der β-Strahlen nicht möglich ist.

Durch die nahe Übereinstimmung zwischen dem Prozentsatz $UY : U$ und $Pa : U$ ist also wohl eine neue Stütze dafür gewonnen, daß das UY das Bindeglied zwischen der Uran- und der Actiniumreihe bildet. Die größere Genauigkeit, die unserer Bestimmung des Abzweigungsverhältnisses gegenüber der älteren Boltwoodschen zuerkannt werden darf, gestattet auch mit mehr Wahrscheinlichkeit als bisher den Schluß zu ziehen, daß das UY neben dem Ionium aus dem UII und nicht neben dem Uran X_1 aus dem Uran I entstehe.

Diese Frage, ob die Abzweigung der Actiniumreihe beim Uran I oder beim Uran II stattfinde, ist vorläufig nicht unmittelbar zu entscheiden. Indirekte Beweise dafür, daß die Abzweigung beim Uran II eintritt, sind einerseits nach St. Meyer, v. Heß und H. Paneth[3])

1) G. N. Antonoff, Phil. Mag. (6) **26**, 1058, 1913.
2) O. Hahn u. L. Meitner, diese Zeitschr. **15**, 236 bis 240, 1914.
3) St. Meyer, v. Heß u. F. Paneth, Wien. Ber. **123**, 1459, 1914.

durch die Neigung der Geraden gegeben, die den Zusammenhang zwischen Reichweiten und Zerfallskonstanten der α-strahlenden Produkte der Actiniumreihe darstellt. Diese Gerade ist nämlich der entsprechenden Kurve für die Uran-Radiumreihe nicht parallel, sondern schneidet sie beim Uran *II*, woraus die Verfasser folgern, daß vermutlich vom Uran *II* aus die Actiniumreihe ihren Ursprung nehme. Eine weitere Stütze für diese Annahme bietet die Fajanssche Beziehung zwischen Atomgewicht und Lebensdauer isotoper Elemente. Darnach ist nämlich wahrscheinlich, daß Actinium das Atomgewicht 226 habe, also Protactinium das Atomgewicht 230 und letzteres daher aus dem Uran *II*, dessen Atomgewicht 234 beträgt, entstehen muß. Würde dagegen die Abzweigung beim Uran *I* stattfinden, so würde das Protactinium das Atomgewicht 234 haben, das Actinium daher das Atomgewicht 230. Rechnet man sich aus den beiden möglichen Atomgewichten des Actiniums das Atomgewicht des Endproduktes der Actiniumreihe, des „Actiniumbleies" aus, so ergibt sich im ersten Fall das Atomgewicht zu rund 206, und im zweiten Fall zu rund 210.

Nun hat Hönigschmied für das Atomgewicht des Bleies aus kristallisierter Pechblende aus Morogoro den Wert 206,05 erhalten. Natürlich mußte sein Blei nicht nur das „Uranblei", sondern auch das „Actiniumblei" des Erzes enthalten. Würde daher das letztere das Atomgewicht 210 haben, so müßte selbst bei dem niedrigen Wert des Verhältnisses $Ac:U$ von 3 Proz. der theoretische Wert des Atomgewichtes von Blei aus Pechblende 206,12 sein, also höher als der von Hönigschmied gefundene Wert. Da die Hypothese, daß das Actiniumblei instabil sei, durch keinerlei Beobachtung gestützt werden kann, muß man annehmen, daß das Atomgewicht des Actiniumbleies 206, das des Protactiniums also 230 beträgt und sonach die Abzweigung der Actiniumreihe beim Uran *II* eintritt.

Zusammenfassung.

1. Es wird die relative Aktivität des Protactiniums in Pechblende bestimmt, indem das Protactinium unter verschiedenen Bedingungen abgeschieden und seine α-Strahlung mit der des Urans verglichen wird.

2. Daraus ergibt sich, daß das Abzweigungsverhältnis der Actiniumreihe aus der Uranreihe nur 3,0 Proz. $\pm$ 0,3 beträgt und nicht wie bisher angenommen wurde, 8 Proz.

3. Der kleinere Wert dieses Prozentsatzes steht in guter Übereinstimmung mit der Herleitung der Actiniumreihe aus dem Uran *Y* und gibt befriedigende Unterlagen für die den einzelnen Produkten der Actiniumreihe, einschließlich des Actiniumbleies, zuzuweisenden Atomgewichte.

Berlin-Dahlem, Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie.

(Eingegangen 16. August 1919.)

Über das Röntgenspektrum von Wolfram.

Von Manne Siegbahn.

Über das Röntgenspektrum des Wolframs liegt schon eine ganze Reihe von Untersuchungen vor. Der Grund dafür ist selbstverständlich der, daß Wolfram das am meisten verwandte Antikathodenmaterial bei technischen Röhren darstellt. Für den technischen Gebrauch solcher Röhren könnte man daher meinen, daß das Linienspektrum des Wolframs eine wesentliche Rolle spielt. Das ist aber im allgemeinen nicht der Fall. Die *L*-Serie des Wolframs ist allzu weich, um irgendwelche Bedeutung zu haben; sie wird schon in der Glaswand des Rohres wesentlich geschwächt. Die *K*-Reihe dagegen erfordert sehr große Härte des Rohres, um in merklicher Intensität hervorzutreten. Überhaupt liegt bis jetzt keine Mitteilung vor, die den Nachweis der Existenz des *K*-Spektrums bei gewöhnlichen gasgefüllten Röhren führt. Doch scheint es nicht ausgeschlossen, daß die neueren, spezielle „Therapie"-Röhren, das *K*-Spektrum von Wolfram erzeugen. Bei den gasfreien Röhren nach Coolidge ist die *K*-Reihe oft untersucht worden und kann vielleicht beim Betrieb mit höheren Spannungen neben dem kontinuierlichen Spektrum in Betracht kommen. Ebenso bei Lilienfeldröhren, wo Lilienfeld und Seemann das noch härtere *K*-Spektrum von Platin nachgewiesen und gemessen haben.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist eine möglichst genaue und vollständige Ausmessung des Röntgenspektrums von Wolfram. Im allgemeinen ist nur die eine oder andere Reihe von den verschiedenen Verfassern untersucht worden, zweitens zeigt ein Vergleich der von verschiedenen Autoren ausgeführten Messungen ziemlich große Unstimmigkeiten. Mit dem von mir konstruierten Präzisionsspektrographen war es jetzt möglich, eine größere Genauigkeit zu erzielen als von den genannten Autoren im allgemeinen erreicht war. Ferner lag es mir wesentlich daran die verschiedenen Reihen (*K*, *L* und *M*) mit vergleichbarer Genauigkeit auszumessen, um dem numerischen und damit dem physikalischen Zusammenhang der

Reihen ein und desselben Stoffes nachgehen zu können. Dabei liegt allerdings die Schwierigkeit vor, daß die verschiedene Härte dieser Reihen auch veränderte Konstruktion der Spektrographen bedingt. Die weichen L- und M-Reihen könnten sehr gut mit dem von mir früher beschriebenen Vakuumspektrographen untersucht werden. Die K-Reihe aber ist mit dem für härtere Strahlen gebauten Spektrographen (beschrieben in dieser Zeitschr. **20**, 251—256, 1919) gemessen worden.

Im folgenden wird über die Resultate bei den K- und L-Reihen berichtet. Die M-Reihe ist mit demselben Apparat von Herrn Wilhelm Stenström ausgemessen worden, worüber in seiner demnächst erscheinenden Doktorarbeit berichtet wird.

K-Reihe.

Zur Erzeugung der K-Reihe diente durchweg eine Glühkathode-Therapieröhre der Firma Siemens-Schuckert mit Gleichrichter derselben Firma betrieben. Die Betriebsspannung war etwa 100 Kilovolt. Mit einer Stromstärke von 3 bis 4 Milliamp. waren in erster Ordnung $^1/_2$ bis 1 Stunde, in zweiter etwa 3 Stunden Expositionsdauer nötig, wobei Kalkspat als Gitter benutzt wurde. Die Methodik der Aufnahme ist in der erwähnten Arbeit in dieser Zeitschr. beschrieben worden. Bei sämtlichen Aufnahmen wurden die Linien auf beiden Seiten der Nullinie exponiert.

Genau ausgemessen und berechnet ist die stärkste Linie der Gruppe, die $K\alpha_1$-Linie. Dann ist der Duplettenabstand $\alpha_1 - \alpha_2$ gemessen und berechnet. Die schwächeren β-Linien sind nur auf drei Platten mit größerer Expositionsdauer gut meßbar.

Außer den Aufnahmen mit dem erwähnten Spektrographen sind noch drei Spektrogramme mit einem neuen Präzisionsspektrographen für den mittel harten Bereich aufgenommen. Die Beschreibung dieses Spektrographen, die den Bereich zwischen Vakuum-Spektrographen (für $\lambda > 1{,}0$ Å.-E.) und dem obigen kurzwelligen Spektrographen (für $\lambda < 0{,}5$ Å.-E.) erschließt, wird an anderer Stelle erfolgen. Diese Aufnahmen mit dem neuen Spektrographen tragen die Nummern N. P. 32—34. Die größere Genauigkeit dürfte innerhalb dieses Gebietes der kurzwellige Spektrograph geben. Die schöne Übereinstimmung der drei Platten N. P. sind daher übertrieben und als zufällig zu betrachten.

In folgender Tabelle sind die Spektrogramme in ihrer Zeitfolge aufgeführt.

Die drei Gruppen in der Tabelle sind mit verschiedenen Kristallexemplaren erhalten. Daß die Gruppen entschieden verschiedene Mittelwerte geben, kann aber nicht gut in einer Änderung der Gitterkonstante gesucht werden. Sämtliche

$K\alpha_1$-Linie des Wolframs.

Datum	Bez.	Refl.-Winkel Kalkspat	λ X.E.
12./12. 18	γ 41	$1^0 58' 31{,}5''$	208,82
12./12. 18	γ 42	$1^0 58' 31{,}3''$	208,82
13./12. 18	γ 43	$3^0 57' 8{,}6''$ (2. Ordnung)	208,79
7./12. 18	γ 48	$1^0 58' 28''$	208,72
12./3. 19	W. 2	$1^0 58' 33''$	208,87
13./3. 19	W. 3	$1^0 58' 29''$	208,75
12./3. 19	N.P. 32	$1^0 58' 27''$	208,71
13./3. 19	N.P. 33	$1^0 58' 29''$	208,76
16./3. 19	N.P. 34	$1^0 58' 28''$	208,73
4./4. 19	W. 4	$1^0 58' 40''$	209,08
5./4. 19	W. 5	$1^0 58' 41''$	209,10
6./4. 19	W. 6	$1^0 58' 33''$	208,87
8./4. 19	W. 7	$1^0 58' 40''$	209,08

Medium **208,85** X.E.

Wellenlängen sind mit $\log d = 0{,}7823347$ berechnet. Zur Beurteilung der erreichbaren Genauigkeit bei einem Röntgenspektrogramm sind die folgenden Ausmessungen des Duplettenabstandes aufklärend. An derselben Platte können die Duplettabstände links und rechts der Nullinie um 0,02 mm verschieden sein, während z. B. die verschiedenen Werte aus W_3 und W_4 bzw. 208,75 und 209,08 durch eine Fehlorientierung jeder Linie um 0,03 mm erklärt wurden. Ich bin daher geneigt zu vermuten, daß die Grenze der Genauigkeit hier wesentlich durch zufällige Strukturfehler des Kristalls bedingt ist.

Wie oben erwähnt, ist die α_2-Linie durch den Duplettenabstand $\alpha_1 - \alpha_2$ bestimmt worden. An fünf Platten ist dieser Abstand sowohl links wie rechts von der Nullinie ausgemessen. Nur eine einzige Aufnahme der zweiten Ordnung ist verwertet, zwar ist der Abstand hier etwa verdoppelt, aber die herabgesetzte Schärfe der Linien ist hier nachteilig.

Duplettenabstand $\alpha_1 - \alpha_2$.

Platte	mm	
γ 47	0,385	
γ 48	0,400	
„	0,367	
γ 43 (2. Ordn.)	0,77	
γ 41	0,376	
W. 3	0,391	
„	0,372	
W. 4	0,373	
„	0,403	
W. 5	0,398	
„	0,412	
W. 6	0,402	
„	0,412	
Im Mittel	0,391	
	$\Delta\lambda$ 4,68	1. Ordn.
	$\Delta\lambda$ 4,65	2. Ordn.

Mittel $\Delta\lambda = 4{,}67$ X.E.

Der Duplettenabstand beträgt demnach hier 4,67 *X*-Einheiten (10^{-11} cm). Mit dem aus dem Wasserstoffmodell berechneten Wert verträgt sich dieser schlecht, was aber bei diesen schweren Atomen leicht verständlich ist. Als Wellenlängenwert für $K\alpha_2$ bekommen wir dann **213,52 X.E.**

Schließlich seien noch die Messungen der schwächeren Linien der *K*-Gruppe angegeben:

Platte	β_1-Linie	β_2-Linie
W. 3	$1^0 44' 27''$	—
W. 6	$1^0 44' 48''$	$1^0 41' 45''$
W. 2	$1^0 44' 39''$	$1^0 41' 52''$
Mittel	$1^0 44' 38''$	$1^0 41' 49''$
λ X.E.	184,36	179,40

Zusammenfassend haben wir somit für die *K*-Serie des Wolframs gefunden

$$K\alpha_2 = 213{,}52 \text{ X.E.}$$
$$K\alpha_1 = 208{,}85 \text{ X.E.}$$
$$K\beta_1 = 184{,}36 \text{ X.E.}$$
$$K\beta_2 = 179{,}40 \text{ X.E.}$$

Die im vorstehenden benutzten Aufnahmen sind aufgenommen von Herrn Mag. Edv. Jönsson (γ 41—48), von Herrn Lic. K. A. Wingärdh (W. 2—7) und von Herrn Lic. A. B. Leide (N. P. 32—34), wofür ich diesen Herren hier meinen besten Dank sage.

In folgender Tabelle wird eine Zusammenstellung der von verschiedenen Autoren gewonnenen Wellenlängenwerte der *K*-Reihe gegeben:

	de Broglie	Hull und Rice	Ledoux-Lebard u. Dauvillier	Elmer Dershem	Siegbahn
$K\alpha_2$	203	218	212,8	212,4	213,52
$K\alpha_1$		214	205,3	207,6	208,85
$K\beta_1$	177	192	182,6	183,4	184,36
$K\beta_2$			176,8	178,4	179,40

L-Reihe.

Die Untersuchung der *L*-Reihe ist gemeinschaftlich mit Herrn Assistent Nils Stensson ausgeführt worden.

Die spektrographischen Anordnungen waren ganz dieselben wie bei den Präzisionsmessungen, welche vom Verf. in den Ann. d. Phys. d. J. publiziert worden sind. Betreffend der Einzelheiten sei auf diese Arbeit hingewiesen. Als analysierende Kristalle wurde teils Steinsalz, teils Kalkspat benutzt. Die stärksten Linien α_1, α_2, β_1, β_2, γ_1 wurden je für sich genau bestimmt, und zwar jede Linie (außer γ) sowohl mit Kalkspat als auch mit Steinsalz, in jedem Falle aus zwei Aufnahmen.

Zusammenfassend waren die Resultate dieser Aufnahmen wie folgt:

		$L\alpha_1$	$L\alpha_2$
Kalkspat	Pl. 5	$14^0 4' 33{,}6''$	$14^0 11' 4{,}3''$
„	Pl. 6	$14^0 4' 37{,}8''$	$14^0 11' 5{,}4''$
Steinsalz	Pl. 8	$15^0 10' 40{,}2''$	$15^0 17' 36{,}6''$
„	Pl. 9	$15^0 10' 41{,}4''$	$15^0 17' 40{,}4''$

		$L\beta_1$	$L\beta_2$
Kalkspat	Pl. 2	$12^0 11' 24{,}5''$	$11^0 49' 48{,}0''$
„	Pl. 4	$12^0 11' 19{,}6''$	$11^0 49' 45{,}7''$
Steinsalz	Pl. 12	$13^0 8' 11{,}0''$	$12^0 44' 46{,}0''$
„	Pl. 13	$13^0 8' 19{,}7''$	$12^0 44' 59{,}7''$

		$L\gamma$
Steinsalz	Pl. 27	$11^0 13' 32{,}4''$
	Pl. 28	$11^0 13' 31{,}8''$
	Pl. 29	$11^0 13' 31{,}8''$
	Pl. 30	$11^0 13' 19{,}8''$
	Mittel	$11^0 13' 29{,}0''$

Berechnet man die entsprechenden Wellenlängen unter Benutzung der von mir früher bestimmten Gitterkonstanten von Steinsalz $\log 2d = 7503541$ und Kalkspat $\log 2d = 7823347$, so bekommt man aus:

				Mittel
Pl.	5,6	$L\alpha_2$	1484,52	
Pl.	8,9	$L\alpha_2$	1484,51	1484,52
Pl.	5,6	$L\alpha_1$	1473,44	
Pl.	8,9	$L\alpha_1$	1473,52	1473,48
Pl.	2,4	$L\beta_1$	1279,15	
Pl.	12,13	$L\beta_1$	1279,19	1279,17
Pl.	2,4	$L\beta_2$	1241,92	
Pl.	12,13	$L\beta_2$	1241,90	1241,91
Pl. 27 — 30		$L\gamma_1$	—	1095,53

Da hier jeder zweite Wert mit Steinsalz und Kalkspat erhalten ist, zeigt die gute Übereinstimmung auch, daß die von uns benutzten Gitterkonstanten richtig gewählt sind.

Von den so genau bestimmten Linien aus sind dann die schwächeren gruppenweise ausgemessen. Das gesamte Wolframspektrum ist dabei in 3 Gebiete geteilt und photographisch aufgenommen. Einige Linien waren zu schwach, um im Komparator ausgemessen zu werden; diese sind mit aufgelegtem Maßstab in Zehntel-Millimeter gemessen. Ihre Wellenlängenwerte sind in folgender Tabelle mit einer Ziffer weniger angegeben als die anderen. In der zweiten Kolumne der Tabelle sind die Werte von ν/R (R = Rydbergsche Konstante) eingetragen, in

der dritten folgen die Bestimmungen von A. H. Compton aus 1916. Die Wellenlängen sind mit den obigen Gitterkonstanten von Kalkspat umgerechnet, in der vierten Kolumne finden sich die neuen Messungen von E. Dershem:

Die L-Reihe des Wolframspektrums

(Linien mit [ ] zweifelhaft).

Bez.	λ in X.E.	$\frac{\nu}{R}$	λ Compton	λ Dersh.
ε, l	1675,05	544,02		
α', α_2	1484,52	613,85	1484,6	1483
α, α_1	1473,48	618,45	1473,6	1472
η, η	1417,7	642,78	—	1416
ν, β_4	1298,74	701,66	1298,7	1298
—	[1287,1]	708,03	—	1287
β, β_1	1279,17	712,39	1279,2	1278
φ, β_3	1260,00	723,23	1260,2	1259
γ, β_2	1241,91	733,76	1242,1	1242
—	[1239,5]	735,29	—	—
—	[1220,5]	746,63	1218,7	1220
—	[1211,8]	752,00	—	1210
ζ, β_5	1203,1	757,43	—	—
—	[1128,4]	807,57	—	1129
δ, γ_1	1095,53	831,81	1096,5	1095
δ, γ_2	1065,84	854,98	1065,3	1065
λ, γ_3	1059,65	859,97	1058,4	1059
ψ, γ_4	1026,47	887,77	1025,1	1025

Die Übereinstimmung zwischen unseren Werten und denen von A. H. Compton ist überraschend gut. Compton schätzt nämlich die Genauigkeit seiner Winkelmessungen auf 0,5′, was in Prozenten der Wellenlängen etwa 0,07 Proz. entspricht. Unsre Werte stimmen aber innerhalb 0,01 bis 0,02 Proz. überein. Dershem hat später Messungen publiziert, die zwar nicht so genau sind, bei denen aber eine Reihe schwächerer Linien gefunden ist. Die Linien l und β_5 sind Dershem entgangen. Ob die übrigen Linien, die im allgemeinen auch von mir wieder gefunden sind, wirklich dem Wolfram angehören, steht nicht fest. Außer den in der Tabelle eingetragenen Linien finden sich bei Dershem noch drei sehr schwache Linien 1177, die vielleicht von Blei herrühren ($L\alpha_1$), 1071 und 1043.

Bekanntlich hat Sommerfeld die L-Reihe in zwei Gruppen mit konstanten Frequenzdifferenzen geteilt. Die jetzt vorliegenden genauen Messungen gestatten eine Nachprüfung dieser Gesetzmäßigkeit, die eine bemerkenswerte Tatsache entschleiert. Bilden wir nämlich die fraglichen Frequenzdifferenzen, beginnend am langwelligeren Ende des Spektrums, so bekommen wir:

$$\varepsilon - \eta' = l - \eta = 98{,}76,$$
$$\beta - \alpha' = \beta_1 - \alpha_2 = 98{,}54,$$
$$\delta - \gamma = \gamma_1 - \beta_2 = 98{,}05,$$
$$\delta - \zeta = \gamma_1 - \beta_5 = 97{,}55.$$

Wie diese Werte zeigen, sind die Frequenzdifferenzen nicht vollkommen konstant, sondern nehmen mit abnehmender Wellenlänge ab.

Lund, Physikalisches Institut der Universität. Juni 1919.

(Eingegangen 2. Juli 1919)

Über durch rotierende lineare Körper hervorgerufene Flüssigkeitsströmungen.

Von P. Metzner.

Eins der interessantesten mechanischen Probleme des lebenden Protoplasten ist die Frage der Fortbewegung einzelliger Organismen durch „Geißeln", mehr oder weniger lange fädige Gebilde, die einzeln oder in Büscheln meist an den Polen des in der Regel oblong gestalteten Körpers sitzen und durch ihre lebhafte Tätigkeit den Organismus entweder vor sich her treiben oder nach sich ziehen. Das Studium dieser Gebilde im Leben ist außerordentlich erschwert durch ihre Feinheit und die Schnelligkeit ihrer Bewegung. Deshalb war man meist auf die Beobachtung abgetöteten Materials oder in ihrer Bewegung verlangsamter Organismen (durch Zusatz schleimiger Stoffe oder Temperaturerniedrigung) angewiesen und wohl über die morphologischen Verhältnisse ziemlich genau unterrichtet, während die Kenntnis der Bewegungsvorgänge recht lückenhaft blieb — um so mehr, als durch die oben erwähnten Eingriffe Änderungen sowohl der physikalischen wie der physiologischen Bedingungen eintreten, die unter Umständen zu Trugschlüssen Veranlassung geben können. Gleichwohl ist schon frühzeitig von der Betrachtung der in ihrer Bewegung verlangsamten Geißeln und mechanischen Überlegungen ausgehend versucht worden, Theorien über die Mechanik der Geißelbewegung aufzustellen. Bütschli[1]), dessen Ansicht bis jetzt die meiste Anerkennung gefunden hat, nimmt an, daß die Geißeln bei ihrer Rotation (es werden in der Regel Rotationsfiguren umschrieben) stets die Gestalt einer Spirale beibehält. „Es bedarf keiner besonderen Erörterungen, daß durch diese spiralwellige Bewegung der Cilie oder Cilien in analoger Weise wie durch die Umdrehung einer Schiffsschraube eine Vorwärtsbewegung und zugleich eine Komponente gewonnen werden kann, die den Schwärmer um seine eigene Achse zu drehen sucht; ebenso wie bei der Schiffsschraube wird aber auch durch Wechsel der Umdrehungsrichtung der Geißeln bewirkt werden können, daß der

1) Bütschli, Die Protozoen in Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs, Bd. I, Abs. 2 (1889), S. 857.

motorische Apparat den zu bewegenden Körper nach sich zieht oder vor sich her treibt"[1]). Fig. 1 gibt das Schema der Kräfteverteilung nach Bütschli wieder[2]). Der beliebige Punkt a der Geißel erfährt bei seiner Bewegung einen Widerstand, der sich in dem Reaktionsdruck R äußert, der in zwei zueinander rechtwinklige Komponenten zerlegt werden kann, von denen die eine (S) die Fortbewegung, die andere (D) die rückläufige Drehung des Körpers verursacht. Eine wirklich rotierende Schraube ist physiologisch nicht denkbar; der gleiche Effekt wird jedoch erreicht, wenn — wie Bütschli annimmt — eine spiralig über die Geißel hinziehende „Kontraktionslinie"[3]) besteht, die während der Geißeltätigkeit um die Geißel herumwandert und so aktiv die rotierende Schraube erzeugt. In neuerer Zeit ist nun ein genaueres Studium der Geißelbewegung (die Bewegung ist so rasch, daß meist nur der Schwingungsraum als Ganzes erscheint) durch die modernen Methoden der Dunkelfeldbeleuchtung ermöglicht worden. Besonders eingehend haben sich mit den Formen der Geißelbewegung Reichert[4]), Ulehla[5]) und Buder[6]) beschäftigt. Während Reichert und Buder auf Grund ihrer Beobachtungen an Bakterien sich der Theorie Bütschlis anschlossen, ist Ulehla geneigt, ihr nur die Bedeutung eines Spezialfalles beizumessen. Aus der Erwägung heraus, daß die Schraubengestalt auch passiv als Folge des Wasserwiderstands entstehen kann, wenn der rotierende Körper elastisch ist, ergab sich die Notwendigkeit, die Strömungsverhältnisse in der Nähe rotierender geißelähnlicher starrer und elastischer Körper zu untersuchen. Dabei wurde die Betrachtung ausgedehnt auf einfachere Bewegungsformen, die sich dann als weit wichtiger erwiesen.

1) W. Pfeffer, Handbuch der Pflanzenphysiologie II (1904), S. 706.

2) Die Bezeichnungen sind für die späteren Betrachtungen gegen das Original verändert.

3) Es ist mehrfach versucht worden, den Begriff der „Kontraktionslinien" durch konkretere Vorstellungen zu ersetzen. Diese Theorien sind aber für unsere Betrachtung hier ohne Belang.

4) K. Reichert, Die Sichtbarmachung der Geißeln und die Geißelbewegung der Bakterien. Zentralbl. f. Bakt. Abt. I Bd. 51 (1909), S. 14.

5) Vl. Ulehla, Ultramikroskop. Unters. über Geißelbewegung. Biolog. Zentralbl. Bd. 31. (1911), S. 645.

6) J. Buder, Zur Kenntnis des Thiospirillum jenense. Jahrb. f. wiss. Botanik Bd. 56 (1915), S. 529.

I. Theoretisches.

Die sich bietenden Erscheinungen mathematisch genau zu verfolgen, lag außerhalb des Rahmens meiner Untersuchung, ist wohl auch für die in Betracht kommenden speziellen Verhältnisse nicht ohne weiteres durchzuführen. Die verschiedenen Formeln für den Widerstand schmaler Flächen lassen sich wegen der mannigfachen Störungen des Strömungsverlaufes nicht übertragen. Trotzdem dürften die folgenden ganz elementaren Betrachtungen, die sich bezüglich des Widerstandes zur Bewegungsrichtung geneigter Körper an die Auffassung Newtons[1]) anlehnen, den Verhältnissen wenigstens qualitativ gerecht werden.

Der Widerstand W eines dünnen starren zylindrischen Körpers, der mit mittlerer Geschwindigkeit in einer realen Flüssigkeit senkrecht zu seiner Längserstreckung fortbewegt wird, kann in erster Annäherung durch

$$W = f(\varrho, \mu, c) \cdot v^2 = k \cdot v^2$$

dargestellt werden[2]), wo v die Translationsgeschwindigkeit, ϱ die Dichte, μ die innere Reibung und c einen durch Dimensionen und Oberflächeneigenschaften des bewegten Körpers bedingten Faktor bezeichnet. Wird ein Rotationskörper umschrieben mit der Winkelgeschwindigkeit ω, so besitzt ein Punkt im Abstand r von der Drehungsachse eine Geschwindigkeit $v = r\omega$. Wird einfach ein Kegelmantel umschrieben, so erteilt jeder Punkt der Geißel einer bestimmten Flüssigkeitsmenge diese Geschwindigkeit in tangentialer Richtung. Es muß also ein Abwandern von Flüssigkeit nach außen stattfinden, hauptsächlich in der Nähe der Kegelbasis. Nehmen wir einfach an, daß die Geißel von der Länge l die Flüssigkeit beiseite schiebt[3]), so wird in der Zeiteinheit eine Wassermenge $M = c \cdot \omega \cdot l^2 \sin\beta$ abströmen, und wenn die gesamte Menge durch den Querschnitt der Kegelbasis ($q = \pi \cdot l^2 \sin^2\beta$) ersetzt werden muß, so erhält

1) J. Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica (1686) Lib. II, Sect. III, VI. Die von N. aufgestellten Formeln des Widerstandes schiefgestellter Flächen gelten zwar nicht bei kleinen Neigungswinkeln und breiten flügelartigen Flächen (vgl. z. B. Bossut, Nouvelles expériences sur les fluides, Paris 1777), nähern sich dagegen den tatsächlichen Versuchsergebnissen bei schmalen Flächen, deren längere Seite in der Bewegungsrichtung verläuft. Bei den hier betrachteten Verhältnissen dürften die Abweichungen nicht beträchtlicher sein als bei den neueren theoretischen Ableitungen. Dafür sprechen z. B. auch die Messungen des Auftriebes in Luft von Wachsmuth am Königschen Instrumentarium (diese Zeitschr. 13, 1015, 1912.

2) Die von K. Przibram (Sitz.-Ber. d. K. Akad. d. Wiss. Wien, 122, IIa, 1913) ermittelte Formel für den Reibungswiderstand rotierender Stäbe in zähen Flüssigkeiten gibt den Widerstand als lineare Funktion der Winkelgeschwindigkeit wieder auf Grund von Messungen bei sehr geringen Winkelgeschwindigkeiten. Es ist zu vermuten, daß bei höheren Drehgeschwindigkeiten sich die Beziehung einer quadratischen Funktion nähern wird, wie das in ähnlicher Weise für den freien Fall von sehr kleinen Kugeln in zähen Flüssigkeiten nachgewiesen werden konnte (H. S. Allen, Phil. Mag. [5] 50, 323, 519, 1900).

3) Unter Vernachlässigung der Vorgänge im Bewegungsschatten des Körpers.

der dort auftretende Flüssigkeitsstrom die Geschwindigkeit

$$v = \frac{M}{q} = \frac{c}{\pi} \cdot \frac{\omega}{\sin \beta}, \qquad (2)$$

wobei β den Winkel des Mantelstrahls mit der Rotationsachse bezeichnet. Dieser Strömung entspricht eine Zugkraft, die zu einer Fortbewegung eines den rotierenden Körper als Geißel tragenden freibeweglichen Körpers mit vorausgehender Geißel führen müßte mit um so größerer Geschwindigkeit, je schlanker der Schwingungsraum ist[1]). Infolge der Reibung nehmen bald größere Flüssigkeitsmengen an der Rotation teil, deren Winkelgeschwindigkeit mit der Entfernung rasch abnimmt. Ist die mittlere Geschwindigkeit ω', so können wir die Vorgänge in der Nähe des rotierenden Körpers so betrachten, als ob die Flüssigkeit in Ruhe sei und der Körper mit der Geschwindigkeit $\omega - \omega'$ sich bewege. Unsere allgemeinen Betrachtungen behalten demnach auch dann ihre Gültigkeit[2]).

Für den Fall, daß die Geißel spiralig gekrümmt ist (s. Fig. 1), können wir die Größe des

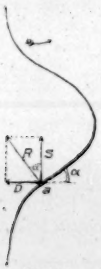


Fig. 1.

Reaktionsdruckes R ableiten, wenn wir das Auftreffen der Wasserteilchen als unelastischen Stoß auffassen (Newton). Wir erhalten dann, wenn a die Steigung der Geißelschraube bezeichnet,

$$R = a \cdot v^2 \cdot \sin^2 \alpha,$$

und der in Richtung der Rotationsachse wirkende Vortrieb S hat die Größe

$$S = a \cdot v^2 \sin^2 \alpha \cos \alpha. \qquad (3)$$

Der Wirkungsgrad ist demnach ein Maximum für $\sin \alpha = +\sqrt{\frac{2}{3}}$, entsprechend einem Neigungswinkel α von $\pm 54^0\,44'\,7''$. Abgesehen davon, daß wir eine strenge Gültigkeit des Winkelwertes nicht erwarten können[1]), dürfen wir doch aus der Betrachtung als wesentlich entnehmen, daß sowohl ganz flache wie sehr steile Schrauben geringe Wirkung haben müssen.

Die horizontale Komponente $D = a v^2 \sin^3 \alpha$ hemmt die Bewegung in horizontaler Richtung und unterstützt so die gegenläufige Rotation des frei beweglich gedachten Körpers, der die Spirale als Lokomotionsorgan trägt. (Selbst bei Abwesenheit jeder Reibung muß eine derartige Rotation ja schon aus dem Prinzip der Erhaltung der Flächenräume gefolgert werden — eine Selbstverständlichkeit, deren aber in der einschlägigen Literatur nirgends gedacht wird.)

Wir gehen zur Betrachtung der Besonderheiten über, die elastische Stäbe bieten. Der Stab von der Länge l sei an einem Ende so befestigt, daß seine Längsachse senkrecht zur Bewegungsrichtung steht. Seine Dichte sei gleich der der umgebenden Flüssigkeit. Während der Bewegung wird er infolge des Widerstandes nach Maßgabe der ihm innewohnenden Elastizität durchgebogen. Da alle Punkte die gleiche Geschwindigkeit besitzen, können wir bei kleinen Geschwindigkeiten den Stab wie einen Träger betrachten, dessen Last gleichmäßig auf seine Länge verteilt ist. Die Gleichung der elastischen Linie können wir dann allgemein schreiben:

$$y = p \cdot W \cdot l^2 \left(x - \frac{x^4}{4\, l^3} \right).$$

Für einen mit der Winkelgeschwindigkeit ω im Abstand r von der Drehungsachse rotierenden Stab berechnet sich daraus der Winkel α mit der Bewegungsrichtung im Punkte x, y daraus zu

$$\cos \alpha = p \cdot k \cdot r^2 \omega^2 l^2 \left(1 - \frac{x^3}{l^3} \right). \qquad (4)$$

Es muß demnach bei der Rotation eine Schraubenform resultieren, deren Steigung bei Zunahme der Winkelgeschwindigkeit und des Abstandes von der Drehungsachse geringer wird. Die stärkste Durchbiegung liegt in der Nähe des Befestigungspunktes.

An der Gestaltung des Schwingungsraumes sind noch andere Kräfte beteiligt. Die Zentrifugalkraft tritt in ihrer Wirkung bei den in Frage kommenden geringen Dimensionen und kleinen Massen gegenüber den durch Reibung bedingten Kräften zurück. Um so größeren Einfluß besitzt eine andere Wirkung der Rotation. Der rotierende zylindrische Draht, dessen Halb-

1) Dieses Verhalten wird bei kleinen Winkeln β durch andere Einflüsse derart modifiziert, daß bei einem bestimmten kleinen Winkel ein Maximum der Wirkung eintritt.

2) Auf einige die Turbulenzprobleme berührende Einzelheiten komme ich bei Besprechung der Versuche noch kurz zurück.

1) Nach den experimentellen Erfahrungen ist

$$a v^2 \sin^2 \alpha < R < a v^2 \sin \alpha.$$

Im letzteren Grenzfall würde S ein Maximum bei $\alpha = 45^0$ ergeben.

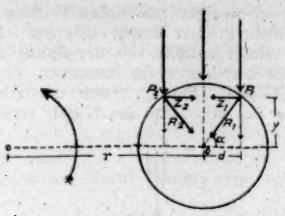


Fig. 2.

messer a sei, kreise im Abstand r um die Achse O (s. Fig. 2). Die Geschwindigkeit des Punktes P_1 ist dann

$$v_1 = \omega \sqrt{(r+d)^2 + y^2}.$$

Ihr entspricht ein Normaldruck R_1 mit der zentripetal gerichteten Komponente z_1, deren Größe einer Funktion des Winkels α und dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist:

$$z_1 = c f(\alpha) v_1^2 = c f(\alpha) \omega^2 [(r+d)^2 + y^2].$$

Die zentrifugal gerichtete Komponente des im symmetrisch gelegenen Punkte P_2 angreifenden Normaldruckes R_2 ist (da α in beiden Fällen die gleiche Größe hat) entsprechend:

$$z_2 = -c f(\alpha) v_2^2 = -c f(\alpha) \omega^2 [(r-d)^2 + y^2].$$

Das Drehmoment der Kraft $(z_1 + z_2)$ am Arme y beträgt dann

$$m = (z_1 + z_2) y = c f(\alpha) \omega^2 [(r+d)^2 - (r-d)^2] y$$
$$= c f(\alpha) \omega^2 4 r d y.$$

Ersetzen wir d und y durch $a \cos\alpha$ bzw. $a \sin\alpha$, so ist

$$m = 4 c r \omega^2 a^2 f(\alpha) \cos\alpha \sin\alpha = 4 c r \omega^2 a \varphi(\alpha)$$

und das Gesamtmoment der an der Vorderseite des Querschnittes entstehenden Kräfte beträgt

$$M = 4 c r \omega^2 a^2 \sum_{0^\circ}^{90^\circ} \varphi(\alpha) = 4 c r \omega^2 a^2 C. \qquad (5)$$

Für die Rückseite ergibt sich ein analoger Ausdruck mit gleichem Drehungssinn. Der Ausdruck $\sum_{0^\circ}^{90^\circ} \varphi(\alpha)$ ist von der Winkelgeschwindigkeit und der Entfernung von der Rotationsachse unabhängig und für den betreffenden Körper als konstant anzusehen [1]). Die Folge dieses Drehmomentes ist ein Ausweichen des Körpers nach der Seite des geringeren Widerstandes, also nach der Rotationsachse zu. Die Wirkung muß um so auffälliger sein, je größer das Drehmoment im Verhältnis zum mittleren Widerstand $W_r (= 2 a c \omega^2 r^2)$

$$\frac{M}{W} = \frac{4 c r \omega^2 a^2 C}{2 a c r^2 \omega^2} = 2 C \cdot \frac{a}{r}. \qquad (6)$$

So muß z. B. der Schwingungsraum eines kurzen einen Kegelmantel beschreibenden Körpers (bei genügender Geschwindigkeit, um die zur Überwindung der elastischen Kräfte erforderliche absolute Energie zu schaffen) von der Spitze nach der Basis zu fortschreitend schlanker werden, bis schließlich der Stab in der Drehungsachse selbst rotiert. Ist — mit Rücksicht auf die natürlichen Verhältnisse — die Geißel an der Insertionsstelle als verhältnismäßig starr und der Winkel, den sie mit der Achse bildet, als unveränderlich zu betrachten, so kann die axiale Stellung nicht erreicht werden; die Geißel wird sich vielmehr in mehr oder weniger flachen Bogen (je nach ihren elastischen Eigenschaften) der Achse anschmiegen. Wegen der Verminderung der Reibungswiderstände geht damit bei konstanter treibender Kraft eine Erhöhung der Winkelgeschwindigkeit parallel.

II. Versuchsanstellung.

Die zu den Versuchen benutzten Drähte waren unter Zwischenschaltung eines kurzen biegsamen Zwischenstückes direkt an der Achse eines kleinen senkrecht über dem Versuchsgefäß montierten Schwachstromelektromotors befestigt und durch ein Glasrohr (dessen untere Öffnung bis auf passende Weite zugeschmolzen wurde) bis zur Mitte des Gefäßes isoliert geführt. Dem herausragenden Ende wurde dann die gewünschte Form gegeben [1]). Das Versuchsgefäß selbst wurde so groß gewählt, daß ein störender Einfluß der Gefäßwände nicht auftrat (meist $26 \times 30 \times 30$ cm). Einige Versuche wurden auch mit horizontaler Anordnung der Rotationsachse durchgeführt. Zur Führung des horizontalen wie des vertikalen Teiles der Achse in der Nähe der Gefäßwand dienen wieder Glasröhren. Beide Teile sind durch ein Stück einer dünnen biegsamen Welle verbunden. Störungen durch das rotierende freiliegende Knie traten nicht auf, so daß von einer völligen Abdeckung abgesehen werden konnte.

Zur Sichtbarmachung der Stromlinien im Innern der Flüssigkeit bediente ich mich der von Zenneck [2]) vorgeschlagenen Abänderung der

1) Streng genommen ist ja auch $f(\alpha)$ von der Geschwindigkeit abhängig.

1) Dadurch werden störende Wirbelbildungen in der Nähe der Oberfläche vermieden. Außerdem nähert sich die Anordnung den natürlichen Verhältnissen, was der unbeweglichen dicken Führung der Körper des Organismus entspricht. Der Einfluß der Führung ist bei in ihrer Nähe rotierender „Geißel" ziemlich beträchtlich.

2) J. Zenneck, Demonstration und Photographie von Strömungen im Innern einer Flüssigkeit, Verh. d. D. Phys. Ges. 16, 695, 1914.

Ahlbornschen Versuchsmethodik[1]). Die total reflektierenden kleinen Gasbläschen werden im Versuchstrog selbst elektrolytisch erzeugt (220 Volt, Vorschaltwiderstand 300 Ω), die Beleuchtung erfolgt annähernd senkrecht zur Beobachtungsrichtung durch Bogenlicht, das den Kondensor parallel verläßt, vor dem eine bewegliche Schlitzblende angebracht ist. So durchsetzen nur ganz schmale „Lichtplatten" den Trog, so daß dann, wenn die Gasentwicklung unterbrochen ist und sich das Wasser etwas geklärt hat, wundervoll scharf gezeichnete Strömungsbilder der beleuchteten Flüssigkeitsschichten entstehen. Zur Vermeidung von Reflexen werden die dem Beschauer und der Lichtquelle abgewandten Innenseiten des Glastroges mit schwarzem matten Karton bzw. Naturpapier verkleidet.

Um die Gestaltsveränderungen der elastischen Körper während der Rotation zu verfolgen, wurden photographische Aufnahmen der Schwingungsräume sowie Momentphotographien ($^1/_{100}$ sec) im durchfallenden Licht angefertigt. Zur subjektiven Beobachtung bediente ich mich einer Art stroboskopischer Methode. An die Rückwand des Glastroges wurde eine Mattscheibe befestigt und in einiger Entfernung dahinter eine sehr intensiv leuchtende Geißlerröhre angebracht, die mit einem kleinen Funkeninduktor betrieben wurde, dessen Unterbrecher in weiten Grenzen reguliert werden konnte. So ließ sich jederzeit die Bewegung zu scheinbarem Stillstand bringen.

III. Versuche mit starren Körpern.

1. Gerade Drähte. (Messingdraht 1 mm; freier Teil 4 cm, 12—15 Umdrehungen pro Sekunde).

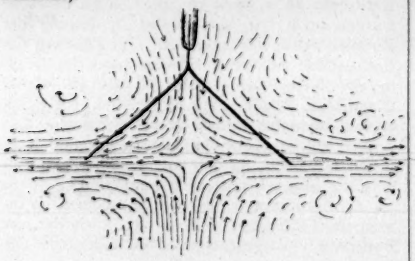


Fig. 3.

a) $\beta = 45^0$ (Fig. 3), Maximum der tangentialen Abwanderung an der Kegelbasis. Es bildet sich eine ziemlich scharf begrenzte, von mehr oder weniger zahlreichen Wirbeln begleitete Schicht größter Bewegung[1]) aus. Der Zustrom erfolgt sowohl von der Spitze als von der Basis her, hier etwas intensiver.

b) $\beta = 20^0$ (Fig. 4). Zone der Abwanderung bis fast zur Mitte des Kegels verschoben,

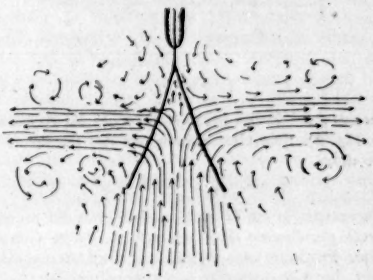


Fig. 4.

1,5 cm breite, gut abgesetzte Scheibe. Zustrom fast ausschließlich von der Basis und den untersten Teilen des Kegelmantels her; Zugwirkung anscheinend bedeutend.

Um wenigstens eine annähernde Vorstellung von der Größe des auftretenden Zuges zu bekommen, wurden einige provisorische Messungen[2]) gemacht. Ein dünnwandiges Glasrohr von 4 mm lichter Weite wurde U-förmig gebogen und in das Versuchsgefäß versenkt. Die Öffnung des kürzeren Schenkels befand sich 5 mm unterhalb der Kegelbasis genau in Verlängerung der Rotationsachse. Der lange Schenkel lag der Vorderwand des Glastroges an. Die Bewegung des Meniskus in der Röhre wurde mit einem Horizontalmikroskop mit Okularteilung bei schwacher Vergrößerung verfolgt ($n = 12$, Länge des Drahtes 5 cm).

Winkel β	Senkung des Meniskus
10^0	0,15 mm
15^0	0,46 „
20^0	0,95 „
23^0	0,98 „
30^0	0,58 „
35^0	0,46 „
45^0	0,24 „
50^0	0,19 „
70^0	0,18 „

1) Ahlborn, Jahrb. d. schiffsbautechn. Ges. 5, 417, 1904.

1) Diese sprunghaften Geschwindigkeitsdifferenzen entsprechen m. E. dem Turbulenzgebiet III der Bezeichnungsweise von Sorkau (Über den Einfluß von Temp., spez. Gew. u. chem. Natur von Flüssigkeiten auf die Turbulenzreibung. Diese Zeitschr. 13, 805, 1912.)

2) Bei den angeführten manometrischen Messungen machte sich bei so kleinen Verschiebungen die Trägheit

Aus der Zusammenstellung geht hervor, daß ein Maximum bei 20°—23° besteht. Die geringe Wirkung bei kleineren Winkeln ist aus der Strömungsverteilung und der geringeren Energie (bei gleicher Winkelgeschwindigkeit) verständlich (vgl. Anm. 1 S. 538).

c) $\beta = 90°$. Keinerlei einseitige Zugwirkung.

d) $\beta > 90°$ (Fig. 5). Der Zustrom von der Basis nach der Spitze nimmt zwar auch bei

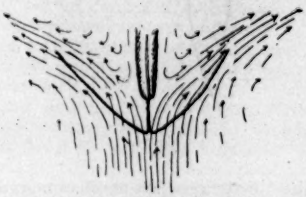


Fig. 5.

spitzeren Schwingungsräumen zu, wird aber durch Einfluß der Führung stark beeinträchtigt, so daß der von der freien Seite her kommende Strom überwiegt; also wiederum Zugwirkung.

2) Gebogene Drähte (1 mm Messingdraht in einer Schraubenwindung; α etwa 20°). Schwingungsraum zylinderförmig; Strömung bei rechtläufiger Rotation analog Fig. 8, bei rückläufiger analog Fig. 9. Bei rechtläufiger Rotation auffallende Wirbelbildung im Innern des Schwingungsraumes, die bei größerer Steigung ($\alpha = 48°$; vgl. Fig. 6) bedeutend geringer

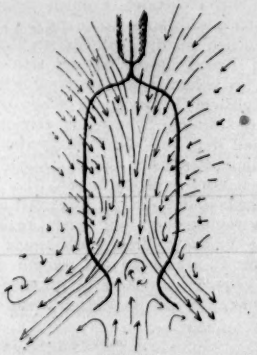


Fig. 6.

des der Röhrenwandung anhaftenden Wassers recht störend bemerkbar. Die beabsichtigten exakten Messungen mußten wegen anderer dringender Arbeiten vorerst zurückgestellt werden.

Fig. 7.

ist. Der Wirkungsgrad ist dann entsprechend größer. Bei der rückläufigen Rotation ist der Unterschied nicht so auffallend (Fig. 7).

IV. Versuche mit elastischen Körpern.

1. Wenig biegsame Drähte (0,5 mm Aluminiumdraht). Strömungsbilder analog den besprochenen; bei höheren Tourenzahlen „Zusammenschnurren" der Schwingungsräume entsprechend Gleichung (6). Bei schraubenförmigen Drähten entsprechende Deformationen (Fig. 8 u. 9).

Fig. 8.

2. Nachgiebige Körper werden an einem 5 mm langen herausragenden Stück der starren Achse befestigt, das auch den Winkel β bestimmt.

a) Kupferdraht 0,1 mm, 7 cm lang, wird völlig passiv mitgezogen; scharfer Knick an der Befestigungsstelle; typische Schraubenform. Strömungsbild (Fig. 10).

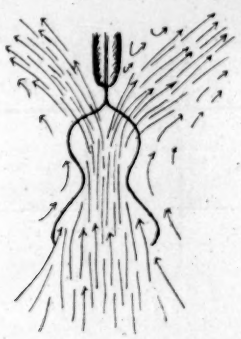


Fig. 9.

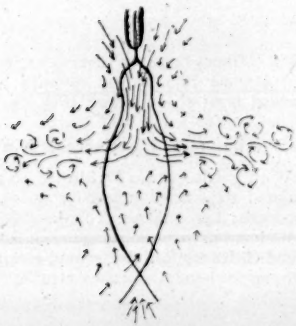


Fig. 10.

b) Messingspirale Φ 2,5 mm; $\beta = 30^0$. Bei sukzessiver Steigerung der Tourenzahl Veränderung des Schwingungsraumes (Fig. 11, 1—4)

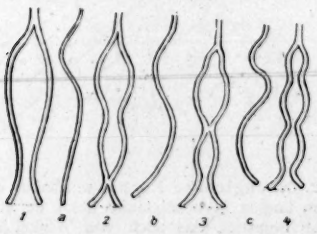


Fig. 11.

entsprechend unseren theoretischen Voraussetzungen: Verkleinerung von α, Verringerung des Durchmessers des Schwingungsraumes; Abwanderung meist in der Nähe der größten Ausbuchtung. Bei sehr langen „Geißeln" keine ausgesprochene Zugwirkung mehr. In Fig. 12 ist

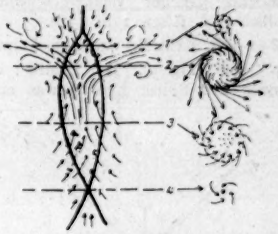


Fig. 12.

auch der Strömungsverlauf einzelner horizontaler Ebenen angegeben. In Fig. 11 sind bei *a*, *b*, *c* die den Schwingungsräumen 1, 2, 4 entsprechenden Formen des rotierenden Modells nach Momentaufnahmen wiedergegeben.

c) Kupferlitze, seidenumsponnen, 10 cm lang, stellt sich bei der Rotation auf fast 4 cm langer Strecke in die Drehungsachse ein, behält auch nach Aufhören der Rotation Schraubenform bei.

Bei sehr rascher Rotation treten überall bei elastischen Gebilden Kreiselwirkungen (Präzession) zutage. Ist $\beta > 45^0$, so wird bei Steigerung der Tourenzahl der Schwingungsraum stark verkürzt unter geringer Breitenzunahme. Diese Figur ist aber nur in labilem Gleichgewicht, wie plötzliche Streckungen und Übergänge in die Fig. 11 entsprechenden Formen zeigen, mitunter unter gewaltsamer Änderung des Winkels β.

Versuchen wir die geschilderten Verhältnisse auf den Bewegungsmodus der Geißeln anzuwenden, so kommen wir zu dem Schluß, daß eine ausgiebige Ortsbewegung schon durch einfache kegelförmige Schwingung erreicht werden kann, und daß sich die komplizierten Schwingungsräume elastischer Geißeln zum Teil auch rein mechanisch erklären lassen. Es erscheint wahrscheinlich, daß die von Bütschli angenommene Bewegungsform nur selten realisiert ist. Über die Versuche, diese Verhältnisse am Objekt selbst zu studieren und weitere mit Hilfe dieser Versuche erklärbare Einzelheiten der Geißelbewegung soll an anderer Stelle berichtet werden.

(Eingegangen 18. Juni 1919.)

Verfahren zur Messung sehr kleiner Kapazitäten und Induktivitäten.

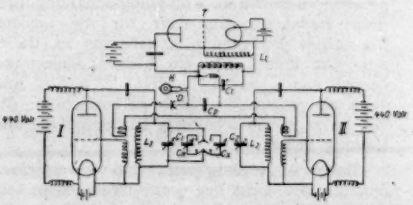
Von L. Pungs und G. Preuner.

In der Praxis der drahtlosen Telegraphie hat die Entwicklung der letzten Jahre das sogenannte Überlagerungsverfahren für den Empfang ungedämpfter Schwingungen hoher Frequenz gebracht. Es besteht bekanntlich darin, daß der Strom, welcher durch die ankommende Schwingung im Antennensystem verursacht wird mit einem zweiten am Aufnahmeort erzeugten von etwas verschiedener Schwingungszahl zur Überlagerung gebracht wird, so daß Schwebungen von hörbarer Frequenz entstehen, die mit dem Hörer beobachtet werden. Die praktische Verwendung ist erst durch die Erzeugung konstanter Schwingungen kleiner Energie durch Glühkathodenröhren mit Gitter am Empfangsort möglich geworden.

Es liegt nahe, das Verfahren zur Messung sehr kleiner Wellenlängenänderungen[1]) und damit auch zur Messung von Kapazitäten und Induktivitäten zu verwenden. Man kann dabei entweder die Tonhöhe der Schwebungen bzw. ihre Änderung bestimmen oder auf Verschwinden des Schwebungstones, also gleiche Schwingungszahl, einstellen. Das erste Verfahren hat den Nachteil, daß eine Bestimmung der Tonhöhe auf akustischem Wege notwendig ist, das zweite erfordert erst eine bestimmte Differenz der Schwingungen, bevor der Ton im Hörer beobachtet werden kann, wodurch die Empfindlichkeit beeinträchtigt wird.

Das von den Verfassern vorgeschlagene Verfahren vermeidet diese Nachteile und gibt eine große Steigerung der Empfindlichkeit. Der Grundgedanke besteht darin, daß zunächst, wie oben, zwei ungedämpfte durch Kathodenröhren erzeugte Schwingungen hoher Schwingungszahl (Periodenzahlen der Größenordnung 10^6 bis 10^5 pro Sekunde) überlagert werden. Dann wird nach Gleichrichtung die Differenzschwebung hörbarer Frequenz abermals mit einer durch eine dritte Röhre erzeugten Schwingung gleicher oder etwas verschiedener Frequenz (z. B. von der Größenordnung 1000 pro Sekunde) überlagert und einem Telephon zugeführt, mit welchem das Auftreten und Verschwinden der langsamen (akustischen) Schwebungen beobachtet wird, die als Anzeigemittel bei der Messung dienen. Dabei erlaubt die Festlegung der zuletzt genannten Schwingungszahl von Tonfrequenz durch die Induktivität und Kapazität des Röhrenkreises diese Größen in Beziehung mit den zu messenden zu bringen und damit dem Verfahren eine besonders praktische Form zu geben.

Das grundsätzliche Schema der Anordnung gibt die Figur. Die Schaltung der Glühkathodenröhren mit Gitter für Schwingungserzeugung durch Rückkopplung wird als bekannt vorausgesetzt[1]). Es sind drei Schwingungssysteme zu unterscheiden. Das mit I bezeichnete ist das eigentliche Meßsystem. Die Wellenlänge seiner Schwingungen kann nach der gewünschten Empfindlichkeit gewählt werden. Die Verfasser nahmen z. B. 1000 bis 1500 m entsprechend den Periodenzahlen $3 \cdot 10^5$ bis $2 \cdot 10^5$. Das System II ist das Hochfrequenzsystem, welches zum Vergleich dient und dessen Schwingungszahl im allgemeinen konstant gehalten wird. Die Systeme dürfen sich nicht gegenseitig beeinflussen. Sie sind außerordentlich lose mit einem Kreis gekoppelt, welcher den Gleichrichter (Detektor) D und einen Blockkondensator C_6 enthält. Parallel



zu diesem liegt der Hörer H, auf dessen Kreis nun das dritte oder „Tonfrequenz-System“ T wirkt. Durch die Überlagerung der Schwingungen in den Systemen I und II wird bei richtiger Einstellung eine Schwebung von Tonfrequenz entstehen, die nach Gleichrichtung durch den Detektor im Telephon H hörbar ist. Diese Schwebung wird durch die Schaltung mit der Tonschwingung des Systems T elektrisch kombiniert, so daß im Telephon langsame akustische Schwebungen auftreten, die bekanntlich dann verschwinden, wenn beide Schwingungen gleich in ihrer Zahl sind. Ist die Schwingung der Kreise II und T konstant, so gibt die Beobachtung dieser Schwebungen ein außerordentlich empfindliches Mittel, um Veränderungen im Schwingungszustande des Kreises I festzustellen, die durch Änderung der Kapazität und Induktivität dieses Kreises auftreten. Darauf beruht die Verwendbarkeit dieser Methode für Meßzwecke.

1) Die Messung von Wellenlängen durch Überlagerung ist zuerst von Scheller mit Poulsengeneratoren ausgeführt worden.

1) Vgl. Meißner, Über Röhrensender, Elektrotechn. Zeitschr. 1919, Heft 7; Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie 14, 5, 1919.

Es sollen folgende Bezeichnungen gelten:
L_1, L_2, L_t die wirksamen Induktivitäten
C_1, C_2, C_t die wirksamen Kapazitäten
} der Schwingungskreise I, II, T,
ν_1, ν_2 die Periodenzahlen der Schwingungen in I und II,
n_t die Periodenzahl der Schwingungen im System T,
n_s die Periodenzahl der langsamen Schwebungen im Hörer.

Als wirksame Kapazität bzw. Induktivität sollen die Werte bezeichnet werden, welche die durch die Röhre erregte Schwingungszahl des Systems bestimmen, so daß allgemein

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \sqrt{C \cdot L}}$$

gesetzt werden kann.

Bei loser Gitterkopplung und der angegebenen, einfachen Rückkopplungsschaltung trifft diese Beziehung mit einer für die meisten Messungen genügenden Annäherung zu, da es sich nur immer um ein kleines Änderungsbereich von C und L handelt. L und C sind dann als empirische Werte zu betrachten, die für die gegebene Schaltung, Rückkopplung und Heizung gelten.

Dabei ist vorausgesetzt, daß die einzelnen Systeme sich nicht gegenseitig beeinflussen und deshalb keine komplizierten Erscheinungen, wie sprungweise Änderung der Schwingungszahl, eintreten.

Da die Konstanten bei der Messung in einfacher Weise empirisch bestimmt werden können, soll hier eine noch allgemeinere Form der Abhängigkeit zwischen ν, C und L eingeführt werden, und zwar wird ν gleich dem Produkte zweier beliebiger Exponentialfunktionen der beiden anderen Größen gesetzt. Bei der Messung kommen immer nur sehr kleine Bereiche in Frage und diese Form genügt auch großen Anforderungen an die Meßgenauigkeit vollkommen. Man hat somit:

$$\nu_1 = K_1 \cdot L_1^{\alpha} C_1^{\beta}; \quad n_t = K_t \cdot L_t^{\gamma} \cdot C_t^{\delta}; \quad \nu_2 = \text{const.} \tag{1}$$

Ferner:

$$(\nu_1 - \nu_2) - n_t = n_s. \tag{2}$$

Es soll sich die Kapazität[1]) um den Betrag ΔC_1 ändern, wo ΔC_1 sehr klein gegen C_1 ist. Dem entspricht eine Änderung von ν_1 um $\Delta\nu_1$ und der langsamen Schwebungszahl um n_x. Dann ist

$$\nu_1 + \Delta\nu_1 = K_1 \cdot L_1^{\alpha} (C_1 + \Delta C_1)^{\beta} = K_1 L_1^{\alpha} \cdot C_1^{\beta} \left[1 + \beta \frac{\Delta C_1}{C_1} + \frac{\beta(\beta-1)}{2} \left(\frac{\Delta C_1}{C_1} \right)^2 + \ldots \right]. \tag{3}$$

Die Glieder höherer Ordnung werden vernachlässigt und man erhält

$$\Delta\nu_1 = K_1 \cdot L_1^{\alpha} \cdot C_1^{\beta} \cdot \beta \frac{\Delta C_1}{C_1}, \tag{4}$$

also ist

$$\frac{\Delta\nu_1}{\nu_1} = \beta \frac{\Delta C_1}{C_1} \tag{5}$$

und ferner

$$\Delta\nu_1 = n_x. \tag{6}$$

Die Gleichung 6 läßt die große Empfindlichkeit des Verfahrens erkennen, was am besten an einem Zahlenbeispiel gezeigt werden kann, welches einer praktischen Messung entnommen ist. Die Wellenlänge im Kreise I sei 1000 m, also $\nu_1 = 3 \cdot 10^5$, $n_s = 1$ pro Sekunde. Eine Änderung von n_s um Bruchteile läßt sich sehr leicht und genau durch Abzählen mit Sekundenuhr feststellen, es sei zunächst $\Delta\nu_1 = n_x = 0{,}5$ gesetzt. Bei $\beta = 0{,}5$ und $C_1 = 1200$ cm erhält man nach Gl. (5) somit $\Delta C_1 = 0{,}004$ cm. Die Empfindlichkeit läßt sich durch Wahl der Wellenlänge usw. noch ganz wesentlich steigern und wird nur durch die bei kürzeren Wellen auftretende Inkonstanz der Schwingungen begrenzt.

Für die Messung kann das Verfahren in sehr verschiedener Art angewandt werden. Hier sollen drei grundsätzliche Methoden angeführt werden, wobei der Einfachheit halber nur von Kapazitätsmessungen die Rede sein soll; die Ausführungen lassen sich natürlich ohne weiteres auf Induktivitätsmessungen übertragen.

1. Die unbekannte Kapazität C_x (vgl. Figur) wird parallel zu C_1 geschaltet und dann durch eine veränderliche Normalkapazität C_n ersetzt, welche so eingestellt wird, daß bei $\nu_2 = \text{konst.}$, $n_t = \text{konst.}$ die Schwebungszahl in beiden Fällen die gleiche bleibt. Am einfachsten stellt man n_t so ein, daß in beiden Fällen $n_s = 0$ wird. Es ist dann $C_x = C_n$. Es ist dabei zu beachten, daß bei $\nu_2 = \text{const.}$ es zwei Werte für ν_1 gibt, für welche die Schwebung gleiche Tonfrequenz hat. Um Fehler zu vermeiden, muß ν_1 etwas kleiner als ν_2 gewählt werden, so daß beim Zuschalten von C_x, wodurch ν_1 weiter verkleinert wird, die Änderung der Tonhöhe immer in gleichem Sinne verläuft. Diese Methode hat den Vorteil, daß sie keine Bestimmung irgendwelcher Konstanten erfordert, sie setzt aber das Vorhandensein einer sehr kleinen veränderlichen Normalkapazität voraus, welche nicht einfach herzustellen ist.

1) Die Ausführungen lassen natürlich sich auch ganz analog auf die Änderungen der Induktivität übertragen.

2. Aus Gleichung (5) folgt

$$\Delta C_1 = \left(\frac{C_1}{\beta \nu_1}\right) \Delta \nu_1. \qquad (7)$$

Durch Zuschalten einer bekannten festen Kapazität C_a und der Beobachtung von $\Delta \nu_1$, durch Abzählen von n_x wird die Konstante $\frac{C_1}{\beta \nu_1}$ bestimmt. Dann wird an Stelle von C_a die unbekannte Kapazität zugeschaltet und wieder $\Delta \nu_1$ bestimmt; C_x ergibt sich dann ohne weiteres aus der Gleichung (7). Ist keine genügend kleine Normalkapazität vorhanden, so schaltet man eine etwas größere parallel zu C_1 und bestimmt die Konstante durch unmittelbare Messung der Änderung von ν_1 nach bekannten Methoden (z. B. mit einem sehr empfindlichen Wellenmesser). Dabei ist zu beachten, daß diese parallel geschaltete Kapazität noch so klein gegenüber C_1 sein muß, daß die Entwicklung S. 544 bestehen bleibt.

Im übrigen gilt auch hier die gleiche Vorsichtsmaßregel für die Wahl von ν_1, wie unter 1.

3. Die Tonschwingungszahl n_t wird so eingestellt, daß

$$\nu_1 - \nu_2 = n_t,$$

die Schwebungen also verschwinden. Dann wird die unbekannte Kapazität C_x zugeschaltet und die Kapazität des Tonschwingungskreises T so weit geändert, daß die Schwebungen wieder verschwinden; es muß dann

$$\Delta \nu_1 = \Delta n_t$$

sein.

Nach den Gleichungen (4) und (1) hat man

$$\Delta n_t = K_t \cdot L_t^{\gamma} \cdot C_t^{\delta} \delta \frac{\Delta C_t}{C_t} = -K_1 L_1^{\alpha} C_1^{\beta} \cdot \beta \cdot \frac{\Delta C_1}{C_1},$$

hieraus

$$C_x = \Delta C_1 = \left(\frac{K_t}{K_1} \cdot \frac{C_1}{C_t} \cdot \frac{\delta}{\beta} \cdot \frac{L_t^{\gamma} C_t^{\delta}}{L_1^{\alpha} C_1^{\beta}} \cdot\right) \Delta C_t =$$

$$= \frac{C_1}{C_t} \cdot \frac{\delta}{\beta} \cdot \frac{n_t}{\nu_1} \Delta C_t = \text{const.}\ \Delta C_t,$$

d. h. einer Änderung von C_1 entspricht abgesehen vom Vorzeichen eine proportionale Änderung von C_t. Ist die Konstante durch Zuschalten einer bekannten Kapazität bestimmt, so kann C_x durch Einstellung von C_t auf Verschwinden der Schwebungen ermittelt werden.

Um die Größenordnung der Konstanten durch ein Beispiel annähernd festzulegen, sei $\delta = \beta$; $C_1 = C_t$ gesetzt, ferner $\nu_1 = 300\,000$, $n_t = 500$. Man erhält

$$\Delta C_1 = C_x = {}^1/_{600} \cdot \Delta C_t,$$

d. h. die Änderungen von C_1 kommen 600 fach als Änderungen von C_t zum Ausdruck.

Diese Methode hat den Vorzug, daß die Einstellung in gröberer Form, z. B. durch einen veränderlichen Kondensator größerer Kapazität erfolgen kann und daß dieselbe in größerer Entfernung von den Hochfrequenzkreisen ausgeführt wird. Dadurch fällt die Störung fort, welche sonst der Beobachter durch seinen Körper, und zwar infolge der Beeinflussung der Kapazität der Kreise während der Einstellung verursacht.

Bei den bisherigen Anwendungsformen des Verfahrens wurde die Schwingungszahl des Kreises II konstant gehalten. Natürlich läßt sich das Verfahren auch so verwenden, daß eine Änderung im Kreise I durch eine entsprechende im Kreise II ausgeglichen wird und das Verschwinden der langsamen Schwebungen die richtige Einstellung anzeigt. Die Anordnung muß dann besonders geeicht werden.

Bei den Messungen muß auf äußerste Konstanz der Schwingungen in bezug auf ihre Wellenlänge geachtet werden. Das geschieht durch Wahl nicht zu kurzer Wellenlängen, Konstanz der Heizung und Anodenspannung, ferner auch durch die Wahl der Röhren, die besonders ausgesucht werden müssen[1]).

Es soll hier noch folgendes Beispiel zur Kennzeichnung des Verfahrens aus einer Reihe von Messungen angeführt werden. Parallel zur Kapazität $C_1 = 1950$ cm wurde ein kleiner Luftkondensator geschaltet, bestehend aus zwei Kreisplatten von 2,6 cm Durchmesser, deren Entfernung durch eine Mikrometerschraube eingestellt werden konnte. Es wurde die Kapazitätsänderung bestimmt, welche man erhielt, wenn der Abstand der Platten von 7,5 auf 7,2 mm, also um 0,3 mm geändert wurde, und zwar nach der Methode 2 (durch Bestimmung der Änderung der Schwebungszahl), wobei $\nu_1 = 3{,}03 \cdot 10^5$ war. Es ergab sich 0,023 cm, während auf Grund der Rechnung aus dem Plattenabstand nach der Kirchhoffschen Formel 0,024 folgte. Dieser Wert beträgt $1{,}18 \cdot 10^{-5}$ der Kapazität C_1.

Nach den bisher ausgeführten Vorversuchen ist anzunehmen, daß die Methode sich für verschiedene Untersuchungen, z. B. für die Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von Gasen usw. mit Erfolg verwenden lassen wird.

Diese Mitteilung ist nur als eine vorläufige zu betrachten. Weitere Veröffentlichungen über die Verfeinerung des Verfahrens und die Korrektionen behalten sich die Verfasser noch vor.

1) Als selbstverständlich werden die Vorsichtsmaßregeln, wie sie beim Arbeiten mit sehr kleinen Kapazitäten getroffen werden müssen, vorausgesetzt.

Kiel, Juli 1919. Laboratorium für Funkentelegraphie der Reichsmarine.

(Eingegangen 24. Juli 1919.)

Die gastheoretische Korrektur des Stokesschen Gesetzes.

Von Fritz Zerner.

Infolge der Wichtigkeit, welche das für Gase modifizierte Stokessche Gesetz für die Untersuchung einiger grundlegender Probleme der Physik gewonnen hat, scheint es nötig, auf einige Irrtümer in der Abhandlung von E. Cunningham[1]) hinzuweisen und die gastheoretische Korrektur am Stokesschen Gesetze richtigzustellen. Es ist auch ein zusammenfassender Vergleich dieser Korrektur mit der Erfahrung bereits jetzt um so mehr geboten, als W. Gerlach[2]) ihn in seiner Notiz „Zur Frage nach der Gültigkeit des Stokesschen Gesetzes" versucht hat und auf einen Widerspruch zwischen Theorie und Erfahrung hinzuweisen sucht, der aber, wie im folgenden gezeigt wird, nicht begründet werden kann.

I.

Cunningham geht von der Überlegung aus: Bewegt sich eine Kugel im Gase, so wird sie ihre nächste Umgebung mitreißen. Es geht also ein doppelter Impulsumsatz vor sich. Erstens teilt die Kugel den an sie anprallenden Molekeln in der Zeiteinheit den Impuls I mit, zweitens übertragen die mitgerissenen Gasmolekeln infolge der inneren Reibung an das im Unendlichen ruhende Gas in der Zeiteinheit den Impuls U. Die Bewegung wird stationär sein, wenn $I = U$ ist. Die Kugel bewegt sich dann mit der Geschwindigkeit V, das sie umgebende Gas mit der Geschwindigkeit kV. Die Kraft P, die auf die Kugel wirken muß, um sie in ihrer Geschwindigkeit zu erhalten, ist

$$P = 6\pi\mu a k V,$$

(wobei a den Radius der Kugel, μ den Reibungskoeffizienten des Gases bedeutet). Die Aufgabe der Rechnung ist die Bestimmung von k.

Ebenso wie Cunningham betrachten wir den Fall des elastischen und den des unelastischen Stoßes zwischen Kugel und Molekel gesondert. Für den ersten Fall findet Cunningham

$$I = \frac{8}{3} a^2 n V_0 \sqrt{\frac{\pi m M}{h(M+m)}},$$

wobei $V_0 = V - kV$ die Geschwindigkeit der Kugel gegen das sie umgebende Gas, m die Masse der Gasmolekel, n deren Anzahl im Kubikzentimeter, M die Masse der Kugel bedeutet.

Für den unelastischen Stoß macht dieser Autor folgende Annahme: „Jede Molekel verfängt sich in der Oberfläche der Kugel so, daß die Geschwindigkeit, mit der sie ausgeschleudert wird, in keinem Zusammenhang steht mit derjenigen, mit der sie aufgetroffen ist. Die Impulse, die bei der Ausschleuderung entstehen, heben sich gegenseitig auf, da für sie alle Richtungen gleich wahrscheinlich sind. Daher spielt nur der Impulsumsatz beim Auftreffen eine Rolle". Cunningham gibt weiter an, daß der Impulsumsatz in diesem Falle doppelt so groß ist wie im ersten. Diese Angabe beruht aber auf einem Irrtum.

Um dies nachzuweisen, wollen wir den Impulsumsatz I' auch in diesem Falle berechnen. Eine Kugel vom Radius $a-r$, der Masse M bewege sich mit der Geschwindigkeit V_0 durch ein Gas, dessen Molekel die Masse m, den Radius r und die mittlere kinetische Energie $\frac{m}{2}\frac{3a^2}{2}$ besitzen. Der stationäre Zustand sei bereits hergestellt, insbesondere herrsche im Gas die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung. Es ist also die Wahrcheinlichkeit, daß eine Molekel eine Geschwindigkeit zwischen u und $u+du$, v und $v+dv$, w und $w+dw$ besitzt

$$\left(\frac{hm}{\pi}\right)^{3/2} e^{-hm(u^2+v^2+w^2)}\, du\,dv\,dw; \quad h = \frac{1}{ma^2}.$$

Nach dem Äquipartitionstheorem erhält dann die Kugel ebenfalls eine ungeordnete Bewegung. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine auf diese zurückgehende Geschwindigkeit zwischen den Grenzen U und $U+dU$, V und $V+dV$, W und $W+dW$ liegt, ist

$$\left(\frac{hM}{\pi}\right)^{3/2} e^{-hM(U^2+V^2+W^2)}\, dU\,dV\,dW.$$

Zur Charakterisierung des Flächenelements führen wir Polarkoordinaten r, ϑ, φ ein, mit der Achse in der Richtung V_0, zur Berechnung des Druckes auf ein Flächenelement ein zweites, bewegliches, rechtwinkliges Koordinatensystem U, V, W, dessen eine Achse (U) immer auf das betrachtete Flächenelement senkrecht steht und dessen Ursprung immer mit diesem Flächenelement zusammenfällt.

Die Größe des Flächenelements ist danach $a^2 \sin\vartheta\, d\vartheta\, d\varphi$, die Molekel besitzt die Geschwindigkeitskomponenten u, v, w, die Kugel $U + V_0\cos\vartheta$, $V + V_0 \sin\vartheta$, W.

Die in der Zeiteinheit auf das Flächenelement auffallenden Molekel liegen dann auf einem Zylinder, dessen Basis das Flächenelement, dessen Höhe $(U + V_0\cos\vartheta - u)$ ist, wobei zu beachten ist, daß dieser Ausdruck immer positiv bleiben muß. Die Größe des bei einem Stoß übertragenen, in die Richtung V_0 projizierten Impulses beträgt

$$\frac{Mm}{M+m}[V_0 + (U-u)\cos\vartheta + (V-v)\sin\vartheta].$$

1) E. Cunningham, Proc. Roy. Soc. (1) 83, 357 ff., 1910.

2) Diese Zeitschr. 20, 298, 1919.

Folglich ist I'

$$I' = \frac{h^3}{\pi^3} n a^2 \frac{m^{1/2} M^{1/2}}{M+m} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-h[m(u^2+v^2+w^2)+M(U^2+V^2+W^2)]} (U + V_0 \cos\vartheta - u)[V_0 + (U-u)\cos\vartheta + (V-v)\sin\vartheta] \sin\vartheta \, d\vartheta \, d\varphi \, du \, dv \, dw \, dU \, dV \, dW.$$

Die Integrationsgrenzen für U und u sind derart zu wählen, daß $(U + V_0 \cos\vartheta - u)$ immer größer als o bleibt.

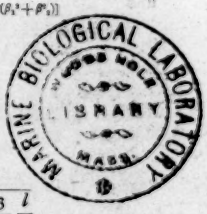
Durch Integration über φ, w und W und Einführen von $\alpha_1 = U - u$, $\alpha_2 = V - v$, $\beta_1 = U + u$, $\beta_2 = V + v$ erhält man

$$I' = 2\pi n a^2 \frac{h^2}{\pi^2} \frac{m^2 M^2}{M+m} \int_0^{\pi} \int_{-V_0 \cos\vartheta}^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{h}{M+m}[mM(\alpha_1^2+\alpha_2^2)+(m+M)^2(\beta_1^2+\beta_2^2)]} [V_0 \alpha_1 \sin\vartheta + (V_0^2 + \alpha_1^2)\cos\vartheta \sin\vartheta + \alpha_1 \alpha_2 \sin^2\vartheta + V_0 \alpha_2 \cos\vartheta \sin^2\vartheta] \cdot d\vartheta \, d\alpha_1 \, d\alpha_2 \, d\beta_1 \, d\beta_2.$$

Man sieht leicht, daß die Vernachlässigung des Integrals über α_1 von $-V_0 \cos\vartheta$ bis o nur einen Fehler von der Größenordnung $\frac{V_0}{a}$ zur Folge hat und erhält

$$I' = 2\pi n a^2 \frac{h^2}{\pi^2} \frac{m^2 M^2}{M+m} \int_0^{\pi} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{h}{M+m}[Mm(\alpha_1^2+\alpha_2^2)+(m+M)^2(\beta_1^2+\beta_2^2)]} \cdot \left(\frac{8}{3} V_0 \alpha_1 + \frac{\pi}{2} \alpha_1 \alpha_2\right) d\alpha_1 \, d\alpha_2 \, d\beta_1 \, d\beta_2,$$

$$= \frac{8}{3} n a^2 V_0 \sqrt{\frac{\pi m M}{h(M+m)}}.$$



Es ist also nach den Annahmen, die Cunningham seiner Rechnung zugrunde legt, der Impulsumsatz im Falle des elastischen Stoßes gleich dem im Falle des unelastischen. Mithin ist klar, daß der Korrektionsfaktor k des Stokesschen Gesetzes von dem Verhältnis zwischen elastischen und unelastischen Stößen unabhängig ist. Um seine Größe zu bestimmen, müssen wir $I = U$ setzen.

$$6\pi\mu a k V = \frac{8}{3} a^2 n \sqrt{\frac{\pi m}{h}}. \quad \text{(Unter der Annahme } M >> m\text{)}.$$

$$k = \frac{4an\sqrt{\frac{\pi m}{h}}}{4an\sqrt{\frac{\pi m}{h}} + 9\pi\mu} = \frac{1}{1 + \frac{9}{4}\frac{\sqrt{\pi\mu}\sqrt{h}}{an\sqrt{m}}}.$$

Um die mittlere Weglänge einzuführen, setzt Cunningham

$$\mu = \frac{1}{3} \varrho \bar{c} l,$$

dann wird wegen

$$\bar{c} = 2\sqrt{\frac{1}{hm\pi}}, \quad \varrho = nm,$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{3}{2}\frac{l}{a}},$$

während Cunningham

$$k = \frac{1}{1 + \frac{1{,}63}{2 - f}\frac{l}{a}}$$

findet. Konsequenter ist es, auch bei der Berechnung der mittleren Weglänge die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung zu berücksichtigen. Dann erhält man $\mu = 0{,}350\, \varrho \bar{c} l$,

$$k = \frac{1}{1 + 1{,}58\frac{l}{a}}.$$

Die Annahme Cunninghams, daß im Falle des unelastischen Stoßes die einzelnen Impulse beim Ausstoß der Molekel sich gegenseitig aufheben, ist zumindest unsicher. Sie ist nur für den Fall richtig, daß von jedem Flächenelement der Kugel gleichviel Molekel im Durchschnitt ausgeschleudert werden. Dies hätte aber zur Voraussetzung, daß jede Gasmolekel solange in der Kugeloberfläche umherwandelt, daß nicht nur ihre Austrittsrichtung von der Einfallsrichtung, sondern auch die Austrittsstelle von der Einfallsstelle unabhängig wird. Das letztere ist aber sehr unwahrscheinlich; es ist vielmehr anzunehmen, daß die Austrittsstelle so nahe an der Eintrittsstelle liegt, daß der Rechnung der andere Idealfall zugrunde gelegt werden kann, daß nämlich Ein- und Austrittsstelle identisch sind. Es ist schon durch Anschauung unmittelbar klar, daß dann auch die Ausschleuderung einen Beitrag zum Gesamtimpuls liefern wird.

Dieser Impuls ist gleich

$$I'' = n a^2 \left(\frac{h}{\pi}\right)^{3/2} m^4 M'^2 \int \dots \int e^{-h\left[m\left(u^2+v^2+w^2+u_1^2+v_1^2+w_1^2\right)+M\left(U^2+V^2+W^2\right)\right]} (U - u + V_0 \cos\vartheta)\,(u_1 \cos\vartheta + v_1 \sin\vartheta) \sin\vartheta \, d\vartheta \, d\varphi \, du \, dv \, dw \, du_1 \, dv_1 \, dw_1 \, dU \, dV \, dW,$$

wobei u, v, w die Geschwindigkeit der Molekel, $U + V_0 \cos\vartheta$, $V + V_0 \sin\vartheta$, W die der Kugel beim Auftreffen, u_1, v_1, w_1 die Geschwindigkeit, mit der die Molekel ausgeschleudert wird, ist. Durch eine der früheren analogen Rechnung erhält man

$$I'' = \frac{1}{3} n a^2 V_0 \sqrt{\frac{\pi m}{h}}.$$

Der gesamte Impuls

$$I' + I'' = 3 n a^2 V_0 \sqrt{\frac{\pi m}{h}}$$

und

$$k = \frac{1}{1 + 2\,\dfrac{\sqrt{\pi}\,\mu\sqrt{h}}{a n \sqrt{m}}} = \frac{1}{1 + \dfrac{4}{3}\,\dfrac{l}{a}},$$

wobei l definiert ist durch

$$\mu = \frac{1}{3} \varrho \bar{c} l,$$

dagegen, falls man $\mu = 0{,}350\, \varrho \bar{c} l$ setzt

$$k = \frac{1}{1 + 1{,}40\,\dfrac{l}{a}}.$$

Als allgemeine Formel erhält man für die Kraft

$$V = \frac{6\pi\mu a V}{1 + \dfrac{1{,}40}{1 - \frac{1}{2}\psi}\,\dfrac{l}{a}},$$

wobei ψ zwischen 0 und 1 variiert und durch das Verhältnis zwischen elastischen und sämtlichen Stößen und durch den Zusammenhang zwischen Ein- und Austrittsstelle der Gasmolekel aus der Kugeloberfläche bestimmt ist.

II.

Die experimentelle Forschung hatte vor allem nachzuweisen, daß die bei kleinen Kugeln auftretenden Abweichungen vom Stokesschen Gesetz durch einen Korrektionsfaktor von der Form

$$k = \frac{1}{1 + A\,\dfrac{l}{a}}$$

darzustellen sind, vor allem also, daß eine Variation des Radius bei konstantem Druck gleichwertig ist mit einer Variation des Drucks des umgebenden Gases bei konstantem Radius. Daß dies tatsächlich der Fall ist, zeigt schon der Vergleich der Arbeit von M. Knudsen und S. Weber[1]) mit der von L. W. Mac Keehan[2]). In der ersten Untersuchung wird für eine Kugel vom bekannten Radius $a = 0{,}772$ cm bei verschiedenen Gasdrucken der Korrektionsfaktor k bestimmt, in der zweiten für verschieden große Kugeln von ebenfalls bekanntem Radius $a = 2{,}5$ bis $0{,}12 \cdot 10^{-3}$ cm bei verschiedenem Druck. Beide Untersuchungen ergaben

$$A = 0{,}68 + 0{,}35\, e^{-1{,}85\,\frac{a}{l}}.$$

Außer diesen wurden noch einige andere Untersuchungen an bedeutend kleineren Probekörpern angestellt. E. Meyer und W. Gerlach[3]) sowie I. Parankiewicz[4]) bestimmten die Fallgeschwindigkeit eines und desselben Probekörpers bei verschiedenen Drucken und berechneten die Konstante A so, daß für alle Drucke der gleiche Radius resultierte. E. Meyer und W. Gerlach erhielten für ihre *Pt*-Kügelchen

$$A = 0{,}6 \left(8 > \frac{a}{l} > 1;\ a \sim 10^{-4}\,\text{cm}\right),$$

Tabelle.

$\frac{a}{l}$	dem entspricht bei Luft von gewöhnlichem Druck ein Radius a	$\bar{A}$ Mc. Keehan	$\bar{A}$ Knudsen
0,000—0,151		0,96	0,98
0,151—0,362		0,90	0,90
0,362—0,711	$4 \cdot 10^{-6}$ — $7 \cdot 10^{-6}$ cm	0,86	0,81
0,711—2,000	$7 \cdot 10^{-6}$ — $2 \cdot 10^{-5}$ cm	0,78	0,72
2,000— ∞	$2 \cdot 10^{-5}$ cm — ∞		0,68

1) M. Knudsen und S. Weber, Ann. d. Phys. IV, **36**, 981 ff., 1911.
2) Diese Zeitschr. **12**, 707 ff., 1911.
3) Elster-Geitel-Festschrift, Verlag Vieweg & Sohn, S. 196 ff.
4) Diese Zeitschr. **19**, 280 f., 1918.

I. Parankiewicz für *Se*-Kügelchen

$$A = 0{,}8\left(1{,}4 > \frac{a}{l} > 0{,}8;\ a \approx 10^{-5}\,\text{cm}\right).$$

Der Vergleich mit der obigen Tabelle zeigt eine recht gute Übereinstimmung mit den Knudsen-Weberschen Resultaten, obwohl die verwendeten Kügelchen 500 bzw. 5000 mal kleiner sind, als die von Knudsen-Weber verwendeten.

Die Annahme, daß die in Frage stehende Korrektur nur eine Funktion von $\frac{a}{l}$ und von der Form

$$\frac{1}{1 + A\frac{l}{a}}$$

ist, ist damit bestätigt.

J. Roux[1]) versuchte auf einem dritten Wege das Stokessche Gesetz in Gasen zu überprüfen. Er bestimmte die Fallgeschwindigkeit einer Kugel in Luft von gewöhnlichem Druck, ließ sie hier in eine Flüssigkeit fallen und bestimmte dann wieder die Fallgeschwindigkeit. Unter Annahme der Gültigkeit des Stokesschen Gesetzes für Flüssigkeiten erhielt er aus der letzteren den Radius der Kugel und konnte damit wieder A berechnen. Er erhielt für 4 *S*-Kügelchen $A = 1{,}23$, für 5 andere $A = 1{,}64$ ($a \infty 1{,}10^{-4}$ cm).

Dieses Resultat weicht von dem Knudsens stärker ab. Doch gibt J. Roux selbst an, daß es ungenau ist[2]).

Andere experimentelle Überprüfungen des Stokes-Cunninghamschen Gesetzes beziehen weitere nicht auf rein mechanischer Grundlage beruhende Voraussetzungen ein, so die Größenbestimmung aus der Farbe von Ehrenhaft und in der Folge von Laski und Parankiewicz optische Theorien, die von R. A. Millikan die Existenz eines Elementarquantums der Elektrizität von der Größe des Elektrons. Dabei soll hier die Richtigkeit der Annahme des Elementarquantums gleichzeitig durch dieselben Versuche bewiesen werden. Die Resultate dieser Methode können daher nicht berücksichtigt werden. Die erstgenannte Methode benützt den Zusammenhang zwischen Fallgeschwindigkeit und Farbe der Probekörper und beweist die Richtigkeit eines Widerstandsgesetzes der Stokes-Cunninghamschen Art auch noch für Partikel, die an der Grenze des Auflösungsvermögens des Mikroskops liegen; sie kann aber für eine derart genaue Bestimmung von A begreiflicherweise nicht herangezogen werden.

Die angeführten rein mechanischen Untersuchungen ergeben:

1. Bei der Anwendung auf den Fall kleiner Kugeln in Gasen ist das Stokessche Gesetz mit einem Korrektionsglied

$$k = \frac{1}{1 + A\frac{l}{a}}$$

zu multiplizieren, das lediglich eine Funktion von $\frac{l}{a}$ ist, wie dies die Gastheorie fordert.

2. Die Konstante A ist stets kleiner als dies nach den im ersten Teile angeführten Rechnungen zu erwarten wäre. Weiter ergeben diese Untersuchungen, daß A eine innerhalb enger Grenzen beständig wachsende Funktion von $\frac{l}{a}$ ist.

Die in Punkt 2 angeführten Resultate waren W. Gerlach teilweise bekannt und verleiteten ihn zu der Behauptung, daß „die experimentelle Bestimmung der Beweglichkeit ultramikroskopischer Teilchen zu Resultaten führt, die nach der Theorie der Fallgeschwindigkeit kleiner Kugeln nicht zu deuten sind". Er weist auch in seiner Notiz darauf hin, daß man durch Fallenlassen des Widerstandsgesetzes die Existenz eines Elementarquantums der Elektrizität beweisen könne. Dem ist vor allem entgegen zu halten, daß ein experimentell bestimmtes Gesetz auch dann gilt, wenn es theoretisch noch nicht erklärt ist.

Dagegen zeigt bereits eine qualitative Diskussion der der gastheoretischen Korrektur zugrunde liegenden Rechnung, daß die auftretenden Abweichungen zu erwarten waren. Hauptsächlich entspricht die Annahme, daß die Geschwindigkeit des Gases gegen die Kugel überall gleich $V - kV$ ist, nicht den Tatsachen. Dies hat zur Folge, daß der errechnete Impuls zu klein wird. Denn die Kugeln, bei denen die Korrektur zur Anwendung kommt, sind von der Größe der mittleren Weglänge der Gasmolekeln und kleiner. Es stoßen also Molekeln an die Kugel, die von Orten kommen, die von der Kugeloberfläche um einen Kugelradius oder

1) Ann. de Chim. et Phys. VIII; 3. série, tome **29**, 69 ff., 1913.

2) Vgl. auch O. W. Silvey, Comparison of the fall of a dropelt in a liquid and in a gas. Silvey gibt zunächst eine Fehlerschätzung für die Experimente von Roux. Er bestimmt darauf nach derselben Methode A für *Hg*-Tröpfchen ($a \infty 1{,}10^{-4}$) und findet $A = 1{,}03$. Dieser Wert läßt sich aber mit dem Knudsenschen nicht ohne weiteres vergleichen, da für den Fall von Flüssigkeitströpfchen das Stokessche Gesetz wegen deren geringen inneren Reibung nicht streng gilt. Phys. Rev. N. S. VII, p. 87 ff.

mehr entfernt sind. Die mittlere Relativgeschwindigkeit dieser Molekeln gegen die Kugel ist aber, wie sich aus dem Stokesschen Gesetz leicht überschlagsweise berechnen läßt, bedeutend größer als die an der Oberfläche der Kugel herrschende. Wenn der Radius klein wird gegen die mittlere Weglänge, wird U (siehe oben) dadurch vergrößert, daß die Kugel direkt (ohne Vermittlung durch die innere Reibung) Bewegungsgröße in fast ruhende Teile des Gases sendet und so der „hydrodynamische" Radius der Kugel vergrößert wird. Man überlegt leicht, daß die Berücksichtigung dieser Umstände A verkleinert und so „ein negatives f" vorgetäuscht wird. Ebenso, daß A deshalb eine Funktion von $\frac{l}{a}$ sein muß. Die Durchrechnung dieses Problems wird nach ihrem Abschluß veröffentlicht werden.

Zusammenfassung.

1. Es werden einige Irrtümer in der Cunninghamschen Ableitung der Korrektur des Stokesschen Gesetzes aufgezeigt und schließlich die Formel

$$P = 6\pi\mu a V \cdot \frac{1}{1 + \frac{1{,}40}{1 - \frac{1}{3}\psi}\frac{l}{a}}$$

gefunden, welche zwischen den von Cunningham angegebenen Grenzfällen liegt.

Es wird gezeigt, daß die experimentell gefundenen Resultate mit den gastheoretischen Korrekturen durchaus vereinbar und die auftretenden Abweichungen aus der Theorie erklärbar sind.

Wien, I. Physikalisches Institut der Universität, Juli 1919.

(Eingegangen 31. Juli 1919.)

Über axenparallele Kernschwingungen in Bohrschen Molekülen.

Von Gerda Laski.

In dieser Zeitschr. **20**, 269, 1919 habe ich die Frage behandelt, ob die Frequenz der axenparallelen Kernschwingung symmetrischer Bohrscher Gasmoleküle mit jenen Frequenzen zu identifizieren ist, welche der Energieansatz für den linearen Planckschen Oszillator erfordert, um die spezifischen Wärmen bei sehr hohen Temperaturen zu erklären, und ob sich bei dieser Problemstellung Rückschlüsse auf die Konstitution von Gasmolekülen nach Bohrscher Vorstellung ziehen lassen.

In diesen Berechnungen ist, wie Herr Prof. Eucken in dankenswerter Weise in einer Zuschrift an Herrn Prof. Debye bemerkt, ein bedauerlicher Irrtum unterlaufen. Es wurde übersehen, daß in den zum Vergleich mit den berechneten spezifischen Wärmen herangezogenen Tabellen von Pier nur die Werte für die mittleren spezifischen Wärmen im Intervall 0^0 bis T^0 angegeben sind. Man muß also die nach Formel (1), l. c., berechneten C_v nach der Beziehung $C_m = \frac{\int C_v dT}{T}$ reduzieren. Dann aber ergeben sich für die spezifische Wärme des Wasserstoffs (unter Zugrundelegung der ultraroten Eigenfrequenz des Bohr-Debyeschen Moleküls) viel zu kleine Werte, die auch innerhalb der Grenzen der möglichen Versuchsfehler nicht mit der Erfahrung in Einklang gebracht werden können.

Die l. c. konstruierten Molekülmodelle von Stickstoff und Sauerstoff lassen sich mit den Messungen der spezifischen Wärmen auch jetzt vereinbaren. Da bei den dort angegebenen Frequenzen ein Faktor $1/\sqrt{2}$ noch übersehen wurde, seien in folgender Tabelle die Resultate für N_2 nochmals zusammengestellt. Aus meinen korrigierten Berechnungen folgt für ein Stickstoffmodell mit je 2 Elektronen in den inneren Ringen und 10 Elektronen im äußeren Ringe: $\nu = 1{,}13 \cdot 10^{14}$; für ein Modell mit je 3 Elektronen in den inneren, 8 Elektronen im äußeren Ringe $\nu = 0{,}82 \cdot 10^{14}$. Dabei sind die inneren Ringe stets einquantig, der äußere zweiquantig zu nehmen. Als resultierenden Mittelwert der aus den Pierschen Messungen gerechneten Eigenfrequenz für N_2 gibt N. Bjerrum[1]) $\nu \cdot 0{,}83 \cdot 10^{14}$ an.

Spezifische Wärmen von N_2.

T	C_m beob.	C_m berechnet	
		mit $\nu = 1{,}13 \cdot 10^{14}$	mit $\nu = 0{,}82 \cdot 10^{14}$
1273^0	5,25	5,09	5,33
1660^0	5,31	5,21	5,55
2273^0	5,78	5,44	5,82
2773^0	5,93	5,60	5,99

Die dispersionstheoretische Umlaufsfrequenz ergibt sich bei N_2 auch im Falle von 3 Elektronen im Innenring in Übereinstimmung mit der quantentheoretisch berechneten: $\omega_{\text{quant.}} = 3{,}04 \cdot 10^{16}$, $\omega_{\text{Disp.}} = 3{,}49 \cdot 10^{16}$. Das Verhältnis

1) N. Bjerrum, Zeitschr. f. Elektrochemie 1911, S. 731.

der beobachteten Konstanten der Cauchyschen Dispersionsformel $\frac{A}{B}$ ist $1{,}66 \cdot 10^{-7}$. Nach den Formeln von Sommerfeld berechnet ergibt es sich zu $1{,}76 \cdot 10^{-7}$.

Bei Sauerstoff folgt für das ursprünglich angegebene Modell mit 12 Elektronen im äußeren Ring die Eigenfrequenz: $\nu = 1{,}34 \cdot 10^{14}$. Ordnet man auch hier wieder den inneren Ringen 3 Elektronen, dem äußeren entsprechend 10 Elektronen zu, so wird $\nu = 1{,}05 \cdot 10^{14}$. Diesem letzteren Modell entspricht $\omega_{\text{Disp.}} = 3{,}50 \cdot 10^{16}$, $\omega_{\text{quant.}} = 3{,}65 \cdot 10^{16}$. Nach Angabe von Pier verläuft die spezifische Wärme von O_2 sehr nahe der von H_2. Für H_2 folgt aber aus den Pierschen Messungen (nach Bjerrum) $\nu = 1 \cdot 10^{14}$.

Aus der großen Zahl von Möglichkeiten der Konfiguration im Bohrschen Sinne, welche die Elektronen im N_2- bzw. O_2-Molekül darbieten, heben sich neuerdings zwei, nur geringfügig unterschiedene Konfigurationstypen hervor, welche geeignet sind, mehrere voneinander unabhängige Erscheinungen in Übereinstimmung mit Erfahrungsdaten darzustellen. Die Modelle haben 3 planparallele Ringe: die beiden inneren einquantigen nahe den Kernen enthalten je 2 bzw. 3 Elektronen, der Rest ist im äußeren zweiquantigen Ringe untergebracht. Beide Möglichkeiten der Konstitution sind, wie ersichtlich, mit den Messungen der spezifischen Wärmen vereinbar, beide Möglichkeiten sind aber auch nach Resultaten der Röntgenspektroskopie nahegelegt, denn aus den theoretischen Betrachtungen von Debye, Sommerfeld-Kroo und Vegard ergibt sich, daß der innerste Elektronenring der Atome einquantig sein muß und 2 bzw. 3 Elektronen trägt, der zweite Ring muß zweiquantig sein und trägt entsprechend bis zu 8 bzw. 7 Elektronen. Die etwas bessere Übereinstimmung in den angeführten Resultaten im Falle von 3 Elektronen steht mit der zuerst von Debye gezogenen Folgerung im Einklang, daß der innerste (feste) Ring der Atome 3 Elektronen enthält.

So wunderbar und auffallend alle diese zahlenmäßigen Zusammenhänge sind, so ist doch andererseits sicher, daß man aus verschiedenen Gründen den angeführten Übereinstimmungen, einzeln betrachtet, nicht übermäßig viel Gewicht beilegen darf.

Um aber die Frequenz der Kernschwingungen von Bohrschen Gasmolekülen auch direkt mit präzisen Erfahrungstatsachen vergleichen zu können und den Umweg über andere Theorien und Beobachtungen zu vermeiden, wurde in einer noch im Gange befindlichen Untersuchung der Versuch gemacht, ob sich diese Eigenschwingungen bei asymmetrischen Molekülen mit der optisch beobachtbaren ultraroten Frequenz identifizieren lassen. Schiebt man im Sinne der Dispersionstheorie die Entstehung ultraroter Absorptionslinien intraatomaren Massenschwingungen zu, dann bietet die betrachtete Kernschwingung die einzige intraatomare Bewegungsmöglichkeit im Bohrschen Modell. Hier einige vorläufige Resultate: Eine näherungsweise Berechnung (mit Berücksichtigung der Wechselwirkung der Elektronenringe) ergibt bei CO (Ladung des C-Kernes $n_1 = 6$, Ladung des O-Kernes $n_2 = 8$, Gesamtzahl der Elektronen $n = 14$), daß sich mehrere Konfigurationen finden lassen, in denen bei geeigneter Wahl der Elektronenanordnung und Quantenzahl die berechnete ultrarote Eigenfrequenz nur um wenige Prozent von der beobachteten abweicht. Berechnet man hingegen bei HCl ($n_1 = 1$, $n_2 = 17$, $n = 18$) ebenfalls auf Grund der üblichen Annahmen (Anordnung in mehreren planparallelen Ringen senkrecht zur Achse, Coulombkräfte) die obere Grenze für die ultrarote Frequenz, so zeigt sich, daß man zwar auch hier wieder bei Anordnung in drei Ringen, wenn man an der Zweiquantigkeit des äußersten Ringes festhält, stets in die geforderte Größenordnung kommt, daß aber bei allen möglichen Elektronenanordnungen die berechnete Frequenz kleiner bleibt als die beobachtete.

Somit weist ein Teil der in dieser Notiz mitgeteilten Resultate darauf hin, daß auch bei Gasmolekülen die bisher üblichen einfachen Annahmen nicht in jedem Falle hinreichen, um Modelle zu konstruieren, welche allen an sie gestellten Anforderungen, den Mechanismus physikalischer Phänomene zu veranschaulichen, Genüge leisten können.

(Eingegangen 2. August 1919.)

Bemerkung zu dem Aufsatz: „Zur Mechanik des Freiballons von F. Jentzsch-Gräfe". (Diese Zeitschr. **20**, 320, 1919.)

Von Hans Maurer.

Ich erlaube mir darauf hinzuweisen, daß ein Teil der in diesem Aufsatz gegebenen Untersuchungen, besonders die Ergebnisse des § 2 bereits im Jahre 1909 von mir veröffentlicht worden sind, und zwar in dem vom Reichsmarineamt herausgegebenen Werke: Die For-

schungsreise S. M. S. „Planet", 1906/1907, Band II, Aerologie S. 55—60, 66, 67.

Die Differentialgleichung (2) lautet bei mir:

$$M\frac{dv}{du} = gF - \alpha B^{2/3} \cdot v^2,$$

und es bedeutet:

bei Maurer	bei Jentzsch-Gräfe	
u	t	die Zeit
M	m	die gesamte in Bewegung gesetzte Masse
v	v	die Geschwindigkeit
gF	A	den freien Auftrieb
$a = \alpha B^{2/3}$	c	die Widerstandskonstante.

Daß bei mir beim freien Auftrieb die Schwerebeschleunigung g explizit auftritt, liegt am Unterschied des technischen und physikalischen Maßsystems. B ist bei mir der dem Volumen des Kugelballons proportionale Bruttoauftrieb. Die Widerstandskonstante a kann annähernd proportional zum horizontalen Kugelquerschnitt, also auch zu $B^{2/3}$ gesetzt werden.

Die Maximalgeschwindigkeit finde ich ebenso wie Herr Jentzsch-Gräfe:

$$v_m = \sqrt{\frac{gF}{\alpha B^{2/3}}} = \sqrt{\frac{A}{c}}.$$

Die Konstante α ist durch Versuche von Prof. Hergesell bestimmt, und für Einzelballons in m/kg/sec-System rund $\frac{g}{\alpha} = 20$ gefunden worden, also

$$v_m = \sqrt{\frac{20F}{B^{2/3}}},$$

während für Tandems nach Prof. Hergesell die entsprechende Formel

$$v_m = \sqrt{\frac{40F}{B_1^{2/3} + B_2^{2/3}}}$$

lautet.

Für die vorausgehenden Geschwindigkeiten ergibt sich bei mir übereinstimmend mit der Jentzsch-Gräfeschen Formel:

$$v = \sqrt{\frac{gF}{\alpha B^{2/3}}} \cdot \frac{e^{uN}+1}{e^{uN}-1}$$

wo

$$N = 2\sqrt{\frac{gF}{M} \cdot \frac{\alpha B^{2/3}}{M}}.$$

Die Jentzsch-Gräfesche Gleichung

$$t = \frac{m\, v_m}{2A} \ln \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

lautet bei mir in gleicher Bedeutung:

$$u = \frac{1}{N} \ln (2n-1),$$

da ich statt $v = \varepsilon \cdot v_m$ gesetzt hatte

$$v = \left(1 - \frac{1}{n}\right) v_m,$$

also

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{n},$$

so daß

$$\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} = 2n - 1$$

ist.

Meine Arbeit gibt dann für drei damals gebräuchlich gewesene Ballongrößen und ein Tandem die Zeiten und Höhen, in denen die Endgeschwindigkeit bis auf Reste von $^1/_2$, $^1/_5$, $^1/_{10}$, $^1/_{20}$, $^1/_{100}$ erreicht wird.

Wegen meiner sonstigen Ausführungen über die Mechanik der Ballonaufstiege darf ich auf meine Arbeit verweisen.

Berlin, August 1919.

(Eingegangen 25. August 1919.)

Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Habilitiert: An der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. K. G. Jonas für Chemie.

Ernannt: Der a. o. Professor an der Universität Kiel (bisher in Göttingen) Dr. Erwin Madelung zum ord. Professor der theoretischen Physik ebendaselbst, der Privatdozent an der Universität Jena Dr. Hans Kaufmann zum a. o. Professor der Chemie ebendaselbst, J. W. Mc Bain zum Professor für Physikalische Chemie (Lord Leverhulme Professur) an der Universität Bristol, B. B. Mouat Jones zum Professor der Chemie an der Universität Aberystwyth, Dr. W. Aten zum a. o. Professor für Elektrochemie an der Universität Amsterdam, der Observator am astrophysikalischen Observatorium in Berlin Professor Dr. Wilhelm Münch zum Hauptobservator, der wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dr. Kohlschütter zum Observator an diesem Institut.

Gestorben: Der frühere ord. Professor für praktische Geometrie und höhere Geodäsie an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Matthäus Haid, der emer. a. o. Professor der Chemie an der Universität Wien Dr. Eduard Lippmann.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1919/20.

Universität Basel.

Hagenbach: Experimentalphysik II: Optik, Wärme, Elektrizität, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, ganztägig, für Anfänger (mit Veillon und Zickendraht), 8; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Matthies:** Mechanik, 4, Übungen, 1 *g*; Elastizitätstheorie, 2; Mathematisch-physikalisches Seminar: Ausgewählte Probleme aus den neueren Theorien, 2 *g*. — **Veillon:** Elementare Übungen in mathematischer Physik, 2. — **Zickendraht:** Radiotelegraphie und -telephonie, 2; Radiotelegraphisches Praktikum, 3. — **Zehnder:** Geschichte der Physik II: Neuzeit, 2; Physikalische Weltanschauungen II: Makrokosmos, 2. —

Rupe: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Vollpraktikum für organische Chemie, tägl.; Chemisches Kolloquium (mit Fichter, Bernoulli und Ruggli), 1 *g*. — **Fichter:** Analytische Chemie, 2; Experimentalchemie der seltenen Metalle, 1; Analytisches Halbpraktikum für Chemiker und Pharmazeuten, 9; Übungen in der qualitativen Analyse für Mediziner, 9; Chemisches Vollpraktikum: Anorganische und elektrochemische Übungen und Arbeiten, tägl. — **Bernoulli:** Physikalische Chemie II: Chemische Thermodynamik, 1; Metallographie und theoretische Metallurgie, 1; Chemisches Praktikum für Lehramtskandidaten und Naturwissenschaftler, 9; Physikalisch-chemisches Vollpraktikum, tägl.; Physikalisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 4. — **Kreis:** Chemie der Nahrungs- und Genußmittel II, 2; Übungen in der Untersuchung von Lebensmitteln, 4; Arbeiten im Laboratorium für angewandte Chemie, tägl. — **Ruggli:** Chemie der Alkaloide, 1; Kurzes Repetitorium der organischen Chemie, 1. —

Mohrmann: Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 1; Kurven und Flächen, 4; Mathematisches Seminar (mit Spieß), 1 *g*. — **Spieß:** Integralrechnung III: Anwendungen, 3; Funktionentheorie II: Elliptische Funktionen, lineare Differentialgleichungen usw., 3; Geschichte der Mathematik im 17. Jahrhundert, 1. — **Niethammer:** Sphärische Astronomie II und geographische Ortsbestimmung, 2; Methode der kleinsten Quadrate, 1; Astronomische Übungen für Anfänger, 3, für Vorgerückte, 3. — **Flatt:** Pädagogisches Seminar, mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung, 4; Repetitorium der Geometrie, 2; Geschichte der physischen Erziehung, 1. —

Universität Bern.

Forster: Experimentalphysik II: Magnetismus, Elektrizität, Wärme, 6; Theoretische Optik, 1 *g*; Repetitorium der Physik, 2; Physikalisches Praktikum, 4; Arbeiten im physikalischen Institut für Vorgerückte, nach Verabredung; Praktikum für wissenschaftliche Photographie, 2. — **Gruner:** Theorie der Elektrizität und des Magnetismus: Elektronentheorie, 4; Vektoranalysis und Potentialtheorie, 1; Mechanik deformierbarer Körper, 2; Seminar für theoretische Physik, 2. — **Blattner:** Elektrizitätswerke und elektrische Bahnen, 1; Theorie der Wechselströme (Einleitung), 1, Fortsetzung, 1. — **Luterbacher:** Dynamik, 2. — **Koestler:** Elektromagnetische Schwingungen, 2; Wechselstromtechnik, 2; Einführung in die theoretische Mechanik, 1—2; Theorie und Berechnung statisch unbestimmter Systeme, 1—2. —

Kohlschütter: Allgemeine und anorganische Experimentalchemie, 6; Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner, 6½; Kolloquium über anorganische Chemie: Einführung in die chemische Literatur, 1. — **Ephraim:** Physikalische Chemie, 3; Repetitorium der anorganischen Chemie, 2; Elektrochemisches Praktikum, 4. — **Mai:** Repetitorium der anorganischen Chemie: Allgemeiner Teil, 1. — **Frl. Woker:** Arbeiten im Laboratorium für physikalisch-chemische Biologie, ganz- und halbtägig; Kurs für die Untersuchung der Körperflüssigkeiten: Harn, Blut, Magensaft, Milch, 4; Physikalisch-chemische Biologie, 2; Fermente und Fermentwirkungen, 1. — **Tambor:** Organisch-chemisches Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Organische Chemie II, 5; Repetitorium der organischen Chemie I, 1. — **Abelin:** Ausgewählte Kapitel aus der Chemie der Fettreihe, 1—2. — **Schaffer:** Chemie der Nahrungs- und Genußmittel I, 2; Chemische Technologie der Lebensmittelgewerbe, nach Verabredung. —

Huber: Theorie der algebraischen Flächen, 3; Fouriersche Reihen und Integrale mit Anwendungen auf die Physik, 2; Determinantentheorie, 1; Mechanik des Himmels, 2; Mathematisches Seminar, 1. — **Crelier:** Algebraische Analysis 2; Sphärische Trigonometrie, 2; Integralrechnung, 2; Analytische Geometrie, 2; Darstellende Geometrie II, 2, IV, 2; Synthetische Geometrie (Fortsetzung), 2; Einleitung in die Differentialrechnung, 1; Elemente der Renten- und Versicherungslehre, 1; Mathematische Übung, 1; Mathematische Übungen und Repetitorium, 1. — **Berliner:** Zahlentheorie, 2. — **Manderli:** Astronomische Phänomenologie II: Theorie und Berechnung insbesondere der Sonnenfinsternisse und verwandter Erscheinungen, 2; Geographisch-astronomische Ortsbestimmung, 2, eventl. Übungen, nach Verabredung; Einführung in die Physik des Himmels, 1. — **Moser:** Mathematische Grundlagen der Krankenversicherung, 2; Die Makehamsche Funktion, 2; Einführung in die Lebensversicherungsrechnung, nach Verabredung; Mathematisch-versicherungswissenschaftliches Seminar, 1—2. — **Bohren:** Die Sozialversicherung und ihre Grundlagen, 2. —

Technische Hochschule Braunschweig.

Diesselhorst: Experimentalphysik: Elektrizität und Magnetismus, 4; Theorie der Elektrizität, 4; Physikalisches Praktikum I und II; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Weber:** Potentialtheorie mit Anwendungen auf die Elektrostatik, 2. — **Bergwitz:** Atmosphärische Elektrizität, 1; Radioaktivität, 1. — **Witte:** Grundzüge der mathematischen Physik, 1. — **Peukert:** Grundzüge der Elektrotechnik, 2; Allgemeine Elektrotechnik, 4; Elektrotechnische Übungen, 2; Elektrotechnisches Praktikum, 6; Arbeiten im elektrotechnischen Laboratorium, 9. — **Müller:** Elektromaschinenbau, 4, Übungen, 6; Elektrische Kraftanlagen, 2, Übungen, 2. —

Fries: Unorganische Experimentalchemie, 5; Chemie der organischen Farbstoffe, 3; Arbeiten im chemischen Laboratorium; Chemisches Kolloquium (mit Roth), *g*. — **R. Meyer:** Geschichte der Chemie, 1. — **Biehringer:** Analytische Chemie, 2; Chemische Technologie der Faserstoffe, 1; Heizstoffe und Kesselspeisewasser, 2, Übungen, 1. — **Roth:** Physikalische Chemie, 2; Metallurgie, 2; Chemie der Metalle, 1; Arbeiten im Laboratorium für physikalische Chemie und Elektrochemie. — **Reinke:** Chemische Technologie II, 1, 6, Übungen, 1; Chemisch-technische Analyse I, 2; Arbeiten im Laboratorium für chemische Technologie II und landwirtschaftlich-chemische Gewerbe; Chemische Technologie in den deutschen Kolonien, 1. — **Beckurts:** Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Gerichtliche Chemie, 1; Grundzüge der Maßanalyse, 1; Pharmazeutische Chemie, 4; Arbeiten im Laboratorium für pharmazeutische Chemie und Nahrungsmittelchemie. — **Troeger:** Analytische Chemie, 2; Chemie der Benzolderivate, 2; Repetitorium der anorganischen und organischen Chemie, 2. — **Emde:** Organische Stoffe mit physikalischer Wirkung: Arzneimittelsynthese, 1. —

Fricke: Analytische Geometrie und Algebra, 3; Differential- und Integralrechnung I, 5, Übungen, 2, II, 2. — **Timerding:** Darstellende Geometrie, 4, Übungen, 6; Algebraische Analysis, 2; Synthetische Geometrie, 2. — **Schlink:** Technische Mechanik I: Statik, 3, Übungen und Repetitionen, 2, II: Dynamik, 3, Übungen und Repetitionen, 2; Die Grundlagen des Fliegens und die verschiedenen Arten von Flugzeugen, 1; Eisenhochbauten, 2, Übungen, 4; Statik der Baukonstruktionen I, 3, Übungen, 4, II,

Übungen, 4. — **Lührs**: Grundzüge der Geodäsie, 1, Übungen, 1; Geodäsie II, 3, Übungen, 1; Höhere Geodäsie eventuell Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate, 2; Planzeichnen, 4. —

Technische Hochschule Breslau.

Lummer: Experimentalphysik: Magnetismus, Elektrizität, Optik, 4; Physikalisches Praktikum, 3. — **Hilpert**: Elektrotechnik, 4; Elektromaschinenbau, I u. II, 2, Übungen, 4; Elektrotechnisches Laboratorium II, 4, III, 8; Kolloquium, 14tägig, *g*. — **Euler**: Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektrische Kraftanlagen I, 2; Übungen, 4. — **Bohner**: Fernsprechtechnik, 2. —

Ruff: Allgemeine und anorganische Experimentalchemie, 4; Anorganische Experimentalchemie für Fortgeschrittene, 3; Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Chemisches Kolloquium (mit Eucken, Neumann und Semmler), 14tägig, 2 *g*. — **Eucken**: Physikalische Chemie I, 4; Physikalisch-chemisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl.; Kleines physikalisch-chemisches Praktikum I und II, 4; Einführung in das physikalisch-chemische Praktikum, 1. — **Neumann**: Anorganisch-chemische Technologie I und II, 4; Chemisch-technisches Praktikum, tägl.; Elektrochemisch-technisches Praktikum, tägl.; Kokerei-Praktikum, tägl.; Technische Elektrochemie, 1. — **Semmler**: Organische Technologie, 3; Organisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Nauß**: Technik der Gasanalyse, 1. — **Jonas**: Ausgewählte Gebiete der organischen Chemie II: Chemie der Steinkohle, Farbstoffe, Sprengstoffe, ätherischen Öle, Alkaloide, Harze, 3, Terpene und Camphor, 2. —

Dehn: Höhere Mathematik I, 5, Übungen, 3; für Chemiker und Hüttenleute, 3, Übungen, 2. — **N. N.**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 4; Ausgewählte Kapitel der Geometrie, nach Vereinbarung. — **Steinitz**: Höhere Mathematik III, 2, Übungen, 2; Potentialtheorie, 2. — **N. N.**: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Luftschiffahrt: Theorie der Luftschiffahrt, 2. —

Technische Hochschule Danzig.

Krüger: Experimentalphysik I, 3; Kleines physikalisches Praktikum, 4; Handfertigkeitspraktikum, 4; Großes physikalisches Praktikum, tägl.; Spezialvorlesung über ein physikalisches Gebiet, 2. — **Kalähne**: Einführung in das physikalische Praktikum, 1; Kinetische Theorie der Materie, 2; Photographie und photographische Reproduktionsverfahren, 1, Übungen für Anfänger und Fortgeschrittene, 3; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten im photophysikalischen Laboratorium, tägl. — **Försterling**: Elektrodynamik, 3. — **Roeßler**: Elektrotechnik II, 4; Elektrotechnisches Laboratorium II, 6 u. 9, III, 9, IV, tägl. außer Sonnabend; Projektierung elektrischer Anlagen, 2, Übungen, 4; Berechnung und Entwurf elektrischer Maschinen (mit Roth), 2, Übungen, 4. — **Grix**: Elektrische Hausinstallationen und Beleuchtungstechnik, 1; Elektrische Bahnen, 2, Übungen 4; Schwachstromtechnik, einschließlich Hochfrequenztechnik, 2. — **Roth**: Elektromaschinenbau, 1, Übungen, 4; Elektrotechnische Meßkunde, 2, Apparate- und Schalttafelbau, 2, Übungen, 4. — **Föttinger**: Einführung in die Physik der technischen Strömungserscheinungen, 2. — **Horn**: Schwingungserscheinungen auf Schiffen, 2. — **N. N.**: Praktische Meteorologie und Luftfahrt, 2. —

v. Wartenberg: Anorganische Experimentalchemie, 4; Praktikum im anorganisch-chemischen und elektrochemischen Laboratorium (mit Jellinek), tägl.; Physikalische Chemie I und II, 2; Kleines physikalisch-chemisches Praktikum I und II, 4; Großes physikalisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Wohl**: Organische Experimentalchemie I, 4; Praktikum im organisch-chemischen Laboratorium, tägl.; Praktikum im Laboratorium für landwirtschaftliche Gewerbe, tägl. — **Jellinek**: Analytische Chemie mit allgemeiner Einführung in die Chemie II, 3. — **Glimm**: Spezielle Technologie der Gärungsgewerbe, 2; Physiologische Chemie, 1; Praktikum für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel sowie Gärungsphysiologie, tägl.; Technisch-chemische Untersuchungsmethoden, 3. —

v. Mangoldt: Höhere Mathematik II, 4, Übungen, 1; Ausgewählte Kapitel aus der höheren Mathematik, 2; Mathematisches Seminar (mit Sommer), 2 *g*. — **Lorenz**: Dynamik starrer Körper, 2, Übungen, 2; Festigkeitslehre und Hydraulik, 4, Übungen 3. — **Schilling**: Darstellende Geometrie, 3, Übungen, 5; Malerische Perspektive und Photogrammetrie, 1, Übungen, 2. — **Sommer**: Höhere Mathematik I, 6; Flächentheorie, 3. — **v. Brunn**: Theorie der Bahnbestimmung der Planeten und Kometen, 2. — **Eggert**: Geodäsie I, 2, II, 2; Planzeichnen, 2; Geodätisches Praktikum I, 2, II, 2. —

Technische Hochschule Dresden.

Hallwachs: Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum I, 6 oder 3, II, einschließlich Laboratoriumstechnik, für Fortgeschrittene, 9; Praktikum für größere physikalische Arbeiten, 20; Physikalisches Kolloquium, Referate über neue Arbeiten (mit Helm und Toepler), 14tägig, 2 *g*. — **Toepler**: Theoretische Physik II: Wärme, 4, Übungen, 1. — **Dember**: Kathoden- und Röntgenstrahlen, 1; Harmonische Analyse und deren Anwendung, 1. — **Luther**: Photographie, 2; Photographisches Praktikum für Anfänger, sowie für Vorgeschrittene, 4 und 8; Selbständige Arbeiten, halb- und ganztägig. — **Görges**: Allgemeine Elektrotechnik II, 2; Theorie des Wechselstromes II, 4; Starkstromanlagen II, mit Übungen, 2; Elektrotechnische Übungen für Geübtere, 8; Elektotechnisches Praktikum, 4; Größere elektrotechnische Spezialarbeiten, 20. — **N. N.**: Elektromaschinenbau II, 2, IV, 2, Übungen, 4 und 8. — **Lottermoser**: Elektrische Öfen, 1. — **Barkhausen**: Elektrische Schall- und Schwingungsvorgänge, 2; Praktikum für Schwachstromtechnik, I, 3, II, 3; Größere Arbeiten auf dem Gebiete der Schwachstromtechnik, 20. —

F. Foerster: Metallurgie, 2; Chemische Großindustrie, 2; Spezielle anorganische Chemie, 2; Anorganisch-chemisches Praktikum: Qualitative Analyse, 12, Gewichts-, Maß- und Gasanalyse, Präparate, tägl. außer Sonnabend. — **Scholl**: Organische Chemie, 5; Organisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend. — **König**: Chemie und Technologie der aromatischen Verbindungen I, 2, Chemie der Textilindustrie, 3; Praktikum für Farbenchemie, 8; Praktikum für größere Arbeiten auf dem Gebiete der Farbenchemie bzw. Färbereitechnik, ganztägig, Praktikum für Farbenchemie bzw. Färbereitechnik, halbtägig. — **Ernst Müller**: Allgemeine mechanische Technologie I, 3; Spinnerei, 3; Technologisches Praktikum für die Faserstofftechnik, 12, für Fortgeschrittene, 20. — **Erich Müller**: Elektrochemie, 2; Physikalische Chemie 3; Praktikum für Elektrochemie, 8; Praktikum für größere Arbeiten auf dem Gebiete der Elektrochemie und physikalischen Chemie, tägl. außer Sonnabend. — **Dietz**: Chemische Technologie der Tonwaren, 1. — **Steinkopf**: Organisch-technische Chemie II, 2. —

Krause: Höhere Mathematik II, 4, Übungen, 2; Höhere Mathematik für die Hochbau- und Chem.-Abteilung, 2; Einleitung in die Theorie der komplexen Funktionen; 3; Mathematisches Seminar, 1 *g*; Seminaristische Übungen für Physik, 1 *g*. — **Helm**: Höhere Mathematik IV, 3, Übungen (mit Naetsch), 14tägig, 2; Kollektivmaßlehre einschließlich Wahrscheinlichkeitsrechnung, 3. — **Ludwig**: Darstellende Geometrie II, 4, Übungen, 4; Darstellende Geometrie II: Perspektive, mit Übungen, 1; Differentialgeometrie der Raumkurven und Flächen, 3; Seminaristische Übungen über höhere Geometrie, 1 *g*. — **v. Mises**: Fluglehre: Elementare Theorie und Berechnung der Flugzeuge, 3; Seminar: Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Fortgeschrittene, 1 *g*. — **Böhmer**: Invaliditäts- und Pensionsversicherung, 2; Lebensversicherungsmathematik II, 1; Analytische Geometrie der Flächen 2. Grades, 3; Determinanten, 1; Übungen zur Versicherungsmathematik, 2. — **Naetsch**: Höhere Mathematik III und IV, 5, Übungen, 14tägig, 2; Einleitung in

die Theorie der partiellen Differentialgleichungen I. Ordnung und des Pfaffschen Problems, 2. — **Pattenhausen**: Geodäsie, I, 2, Übungen, 2, II, 3, Übungen, 2; Höhere Geodäsie II, 2, Übungen, 2; Einführung in die Kenntnis des Fixsternhimmels, mit Beobachtungen im Observatorium, 1; Geodätische Ausarbeitungen, 2; Geodätische Rechenübungen, 2; Skizzieren geodätischer Instrumente, 2; Katastervermessung, 2; Planzeichnen I, Übungen, 2. —

Universität Erlangen.

Wiedemann: Experimentalphysik, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 2; Physikalisches Halb- und Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Reiger**: Theoretische Physik, 4, Übungen, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Würschmidt und Hauser), 1 g. — **Würschmidt**: Geophysik, 4; Geschichte der Mathematik und Physik I, 2. — **Hauser**: Angewandte Physik, 2. —

O. Fischer: Organische Experimentalchemie, 5; Praktische Übungen im Chemischen Laboratorium (mit Henrich): a) Analytisch-chemische Übungen, b) Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Praktikum für Mediziner, 4. — **Busch**: Organische Chemie unter Berücksichtigung ihrer Anwendung in der Pharmazie, 3; Grundlagen der Nahrungsmittelchemie, 2; Chemisches Praktikum: a) ganztägig, tägl., b) halbtägig, tägl. außer Sonnabend; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Übungen in der Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln, tägl. außer Sonnabend. — **Henrich**: Analytische Chemie der Metalle, 2; Theorien der Chemie, 1. — **Dilthey**: Ausgewählte Kapitel aus der Arzneimittelsynthese, 2. —

Noether: Geometrische Transformationen, 4. — **E. Fischer**: Algebra, I, 4: Differential- und Integralrechnung I, 4, Übungen, 1; Mathematisches Seminar, 3 *g*. — **Tietze**: Analytische Geometrie des Raumes, 4, Übungen, 1; Bestimmte Integrale und Einführung in die Lehre von den Differentialgleichungen, 4, Übungen, 2; Seminar für Fortgeschrittene, 2. — **Holzberger**: Darstellende Geometrie II, 4, Übungen, 2 *g*. — **Hartwich**: Sonnensystem und Fixsternwelt, 2; Systematische Vorführung der Einrichtungen der Sternwarte, tägl. außer Donnerstag, *g*; Astronomisches Praktikum auf der Sternwarte, tägl. *g*. —

Universität Frankfurt a. M.

Wachsmuth: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Polarisation des Lichtes, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Born), 14 tägig, 2 *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 6, für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend, für Mediziner, 3; Handfertigkeitspraktikum (mit Seddig), nach Verabredung; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — **Born**: Mechanik II: Elastizität und Hydrodynamik, 4, Übungen, 1; Seminar über Quantentheorie (mit Stern), 1 *g*. — **Seddig**: Repetitorium der Experimentalphysik, 4; Photographisches Praktikum, 4 oder 8; Übungen zur Anstellung von optischen Projektionen und Vorlesungsversuchen, 2; Leitung selbständiger Arbeiten aus dem Gebiete der wissenschaftlichen Photographie, ganztägig. — **Stern**: Thermodynamik, 2; Molekulartheorie II: Statistische Mechanik, 2; Das Atom, 1. — **N. N.**: Theorie der Elektrizität, nach Verabredung. — **Déguisne**: Der elektrische Gleichstrom, 2; Gleichstrommessungen, 1; Einführung in die drahtlose Telegraphie, 1; Magnetismus, 1 *g*; Kolloquium über die neuere Literatur der angewandten Physik, 14tägig, 1½ *g*; Kleines elektrotechnisches Praktikum, 3 oder 6; Großes elektrotechnisches Praktikum, halb- oder ganztägig; Röntgenpraktikum, 3; Wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — **Gramberg**: Thermodynamische Untersuchungen an Maschinen: Instrumente und Methoden zu ihrer wissenschaftlichen Untersuchung, 1; Abriß der Wärmemaschinen: Einrichtung und thermodynamische Wirkungsweise der thermischen Kraft- und Arbeitsmaschinen, 1. — **Linke**: Wetterkunde, 2; Sonnenstrahlung, 1 *g*; Meteorologisch-geophysikalische Übungen, 2. —

Freund: Organische Experimentalchemie, 5; Kolloquium über organische Chemie, 14 tägig, 2; Chemisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten: a) organische Abteilung (mit F. Mayer und Fleischer), tägl., b) anorganische Abteilung (mit Ebler, F. Hahn und Speyer), tägl. außer Sonnabend, für Mediziner (mit Ebler, F. Hahn und Speyer), 4, für Angehörige der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät (mit Speyer), 2 halbe Tage. — **Lorenz**: Physikalische Chemie, 4; Neuere Theorien des elektrolytischen Leitvermögens, 1 *g*; Großes physikalisch-chemisches Praktikum (mit Fraenkel und Fester), halb- oder ganztägig; Kleines Praktikum der physikalischen Chemie und Elektrochemie (mit Fraenkel), 4 Wochen; Metallographisches Praktikum (mit Fraenkel), 3; Chemisch-technisches Praktikum (mit Fester), 3; Wissenschaftliche Arbeiten (mit Fraenkel und Fester), ganztägig; Physikalisch-chemisches Kolloquium, 14tägig, 2. — **Fraenkel**: Heterogene Gleichgewichte, 2; Blei und Edelmetalle, 1. — **Fester**: Technische Chemie, auf physiko-chemischer Grundlage, I: Brennstoffe, 2. — **Fleischer**: Synthetische Methoden der organischen Chemie, 2; Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der anorganischen Chemie, 1. — **F. Mayer**: Einführung in die anorganische Chemie auf elementarer Grundlage, 1; Zwischenprodukte der Teerfarbenindustrie: Chemie der Benzolderivate, 2; Färberei und Zeugdruck, 1; Praktische Übungen in der Färberei der Textilfasern, 2. — **Ebler**: Einführung in die anorganische Chemie und qualitative Analyse, 3; Kolloquium über anorganische Chemie, 1 *g*; Gasanalyse und Gasvolumetrie, 1; Praktische Übungen im Arbeiten mit Gasen, 4; Einführung ins Mediziner-Praktikum, 1. — **Hahn**: Neuere Anschauungen auf dem Gebiete der anorganischen Chemie: Valenz- und Strukturlehre, 2; Chemisches Repetitorium für Mediziner, 2. — **Speyer**: Chemische Technologie IV: Anorganische Prozesse, 2; Chemie der Alkaloide, 1. — **Wedekind**: Chemie der zyklischen Verbindungen II: Heterozyklische Verbindungen, 2; Chemie der physiologisch und therapeutisch wichtigen Stoffe, 2. — **N. N.**: Pharmazeutische Chemie, 3; Die analytische Auffindung der Gifte, 2; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, ganz- oder halbtägig. — **Tillmans**: Nahrungsmittelchemie, II, 2; Praktikum der Nahrungsmittelchemie oder Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, ganz- oder halbtägig; Kursus in Nahrungsmitteluntersuchung, 4. — **Popp**: Gerichtliche Chemie und naturwissenschaftliche Kriminalistik, 1½. — **Becker**: Angewandte Chemie und Bakteriologie in Industrie, Handel und Gewerbe, Chemisch-technische Warenkunde, Chemie und Industrie der Ersatzstoffe, mit Exkursionen, 3; Chemisches Praktikum: Übungen in der Untersuchung und Beurteilung von Handelswaren: Chemisch-technische Analyse, 5; Bakteriologischer Lehrkurs für Apotheker: Desinfektion und Sterilisation, 5. —

Bieberbach: Differential- und Integralrechnung II, 4, Übungen, 2; Darstellende Geometrie mit Übungen, 3½; Mathematisches Seminar: Lektüre von Gauß' Disquisitiones arithmeticae (mit Epstein, Hellinger, Schoenflies, Szasz), 2: Das Wesen der Mathematik, 1. — **Schoenflies**: Projektive Geometrie, 4, Übungen, 1. — **Hellinger**: Zahlentheorie, 4, Übungen, 1; Die Reihenentwicklungen der mathematischen Physik, 3. — **Epstein**: Algebra, 4, Übungen, 1; Höhere Flächentheorie, 2. — **Szasz**: Gewöhnliche Differentialgleichungen, 4, Übungen, 1; Reelle Funktionen und Lebesguesche Integrale, 2; Übungen über höhere Analysis (mit Hellinger), 1. — **Brendel**: Wahrscheinlichkeitsrechnung, 3; Übungen im astronomischen Rechnen, nach Verabredung; Einführung in die Versicherungswissenschaft, 2. — **Brill**: Rotation der Himmelskörper, 2. —

Universität Freiburg i. B.

Himstedt: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Übungen aus der theoretischen Physik, 1; Physikalisches Kolloquium, 2; Physikalisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Anleitung zu selbständigen Ar-

beiten, tägl. — **Koenigsberger**: Mathematische Physik: Optik, mit Übungen, 3 *g*; Quantentheorie, 1 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Mathematisch-physikalisches Kolloquium, *g*. — **N. N.**: Anleitung zu selbständigen Arbeiten im technisch-physikalischen Institut, tägl. *g*. — **Ansel**: Dynamik und Thermodynamik der Atmosphäre, 2 *g*; Populäre Astronomie, mit Lichtbildvorführungen, 2; Graphische Methoden der angewandten Mathematik, 2; Astronomische Ortsbestimmung mit Übungen am Universal, 2. — **Friedrich**: Moderne Atomtheorien, 2; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten, 1 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Die Dosimeterverfahren der Strahlentherapie für Mediziner, 1. — **Meyer**: Elektrochemie, 2; Physikalische Chemie für Mediziner, 1; Radioaktivität mit Demonstrationen, 1; Photographie mit Übungen und Demonstrationen, 2; Physikalisch-chemisches Übungspraktikum, 2; Selbständige physikalisch-chemische Arbeiten, nach Verabredung. — **Gattermann**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum (mit Fromm, Meigen, Skita und Schwarz): für Chemiker, tägl. außer Sonnabend, für Nichtchemiker, halbtägig; Übungen im Experimentieren und Vortragen I, anorganisch, 2 *g*. — **Riesenfeld**: Anorganische Technologie: Metallurgie, mit Exkursionen, 2; Ionenlehre, 1; Chemie der seltenen Elemente, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im technologischen Institut, tägl.; Elektrochemisches Praktikum, 4. — **Fromm**: Organische Experimentalchemie, 5; Repetitorium der anorganischen Chemie für Mediziner, 2, Repetition, 1. — **Meigen**: Qualitative Analyse, 3; Chemisches Rechnen I, 1. — **Skita**: Aromatische Chemie: Benzolderivate, 2; Kolloquium für organische Chemie, 1. — **Madelung**: Chemie der heterozyklischen Verbindungen, 1. — **Schwarz**: Quantitative Analyse, 2; Chemie der Metalloide, 1. — **Loewy**: Differential- und Integralrechnung I, mit Übungen, 5; Analytische Geometrie des Raumes, mit Übungen, 5; Ausgewählte Fragen der Algebra, nach Verabredung, *g*. — **Heffter**: Synthetische Geometrie, 4; Theorie der Funktionen einer komplexen Variabeln, 4; Funktionentheorie, 2 *g*. — **Seith**: Geometrie des Kreises, der Kugel und der Kegelschnitte, 2. — **Stickelberger**: Zahlentheorie, 3. — **Bolza**: Variationsrechnung, 4. —

Universität Freiburg (Schweiz).

Gockel: Experimentalphysik I, 6; Physik der Erde, 2; Physikalisches Kolloquium, 1; Physikalisches Praktikum für Mediziner und Pharmazeuten (mit v. Hauer), 6; Arbeiten und Übungen im Laboratorium, tägl. — **Joye**: Allgemeine Physik: Optik, 3; Mathematische Physik: Optik, 3; Physikalisches Seminar, 1; Praktische physikalische Übungen für Anfänger und Chemiker, 8; Physikalisches Laboratorium für Fortgeschrittene oder Lehramtskandidaten, tägl. außer Montag; Untersuchungsarbeiten im Laboratorium, tägl. — **v. Hauer**: Einführung in die physikalisch-chemischen Theorien, 3. —

Bistrzycki: Analytische Chemie II, 2; Ausgewählte Kapitel der organischen Chemie und Technologie II, 3; Chemisches Kolloquium, 1; Analytisches Praktikum, sowie Anleitung zu selbständigen organisch-chemischen Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Analytisch-chemisches Praktikum für Mediziner, 14. — **v. Estreicher**: Anorganische Chemie, 5; Repetitorium über anorganische Chemie, 1; Chemisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Pharmazeuten, tägl. außer Sonnabend. —

Plancherel: Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 2; Theoretische Mechanik, 3. — **Bays**: Analytische Geometrie, 3, Übungen, 2; Funktionstheorie, 3. —

Universität Gießen.

König: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5; Physikalisches Praktikum (mit Uller und Cermak), für Mathematiker und Naturwissenschaftler, 6, für Vorgeschrittene, nach Verabredung, für Chemiker, Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte, 3; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar für Lehramtskandidaten: Übungen in Demonstrationsversuchen und Behandlung einfacher theoretischer Hausaufgaben (mit Cermak), 14tägig, 2 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Fromme), 14tägig, 2. — **Cermak**: Handfertigkeitspraktikum, 3; Stromleitung in Gasen, mit Versuchen, 1; Röntgendiagnostik und Röntgentherapie in der Medizin, 1 *g*. — **Uller**: Einführung in die Gleich- und Wechselstromtechnik, zugleich Vorbereitung für die elektrotechnischen Übungen für Naturwissenschaftler, 2. — **Jentzsch**: Wärmekraftmaschinen in elementarer Darstellung, 1; Optotechnische Übungen, auch Anleitung zu selbständigen Arbeiten, nach Verabredung; Wissenschaftliche Mikroskopie, mit Demonstrationen, 1. — **Fromme**: Thermodynamik, 3; Theoretisch-physikalische Übungen, 1; Elemente der Astronomie und der mathematischen Geographie, mit Übungen, 1½. —

Elbs: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum (mit Brand), tägl.; Chemische Übungen (mit Brand), für Landwirte, tägl. außer Sonnabend, für Mediziner und Veterinärmediziner 5; Übungen in Unterrichtsversuchen für Lehramtskandidaten (mit Brand), 14tägig, 2 *g*; Chemisches Kolloquium (mit Schaum, Brand und Feist), 2; Pharmazeutisch-chemische und nahrungsmittelchemische Übungen (mit Feist), tägl. — **Brand**: Chemische Technologie I: Technologie der anorganischen Stoffe mit Besichtigungen chemischer Betriebe, 2; Organische Farbstoffe mit Demonstrationen, 2; Warenkunde mit Demonstrationen, 1. — **Schaum**: Theoretische Chemie: Atomistik, Energetik und Verwandtschaftslehre, 2; Neuere Fortschritte auf dem Gebiet der physikalischen Chemie, 1; Repetitorium der allgemeinen Chemie mit besonderer Berücksichtigung der anorganischen Chemie, 1; Physikalisch-chemische Übungen, 6 bzw. 3; Physikalisch-chemisches Praktikum, ganz- oder halbtägig. — **Feist**: Pharmazeutisch-chemische Präparate, organischer Teil, 3; Ausmittelung der Gifte, 2. —

Engel: Zahlentheorie, 4; Integralrechnung, mit Übungen, 4; Funktionentheorie (Fortsetzung), 2; Mathematische Übungen für mittlere Semester, 1; Mathematisches Seminar: Differentialgeometrie, 2. — **Schlesinger**: Höhere Mathematik mit Übungen, 2; Synthetische Geometrie, 4; Gewöhnliche Differentialgleichungen, 4; Mathematisches Seminar: Funktionentheorie, 1. — **Graßmann**: Lineare Systeme von Kegelschnitten, mit Übungen, 4; Analytische Mechanik I, 4; Mathematisches Seminar: Analytische Mechanik, 1. — **N. N.**: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, 2; Übungen in der Versicherungsrechnung, 2. — **Maennchen**: Numerische und graphische Auflösung von Gleichungen mit Übungen, 3. —

Universität Graz.

Benndorf: Experimentalphysik I: Allgemeine Physik und Mechanik, 5; Physikalische Übungen für Anfänger I, 6 *g*, II, 9 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Vorgeschrittene, tägl. außer Sonnabend, *g*; Besprechung physikalischer Fragen (mit Radakovic), 2 *g*. — **N. N.**: Experimentalphysik I, für Mediziner und Pharmazeuten, 5. — **Streintz**: Akustik (Fortsetzung), 2. — **Rosenberg**: Übungen in der Anstellung physikalischer Schulversuche, 3 *g*. — **Wassmuth**: Die Zustandsgleichung, 1 *g*. — **Radakovic**: Elektrizität, 5; Seminar für theoretische Physik, 2 *g*. — **Brell**: Vektorenrechnung mit Übungen, 3 *g*; Einführung in die Relativitätstheorie, 2. — **Ficker**: Allgemeine Meteorologie, 3; Ausgewählte Kapitel der Geophysik, 1; Meteorologisches Konversatorium, 1; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten, 2. —

Skrabal: Allgemeine und anorganische Experimentalchemie, 5; Chemische Übungen (mit Faltis), für Anfänger, tägl. außer Sonnabend, für Vorgeschrittene, tägl., für Mediziner, 4. — **Kremann**: Physikalische Chemie I, 2; Physikalische Arbeits- und Meßmethoden, 3; Physikalisch-chemisches Praktikum, für Vorgeschrittene, 20. — **Faltis**: Pharmazeutische Chemie, 5. — **Hemmelmayr**: Ausgewählte Kapitel aus der chemischen Technologie: Gärungs-

industrien, Kautschuk, 2; Experimentierübungen: Chemische Schulversuche, 2. —

Daublebsky: Differential- und Integralrechnung, 5; Mathematisches Seminar, 2 *g*. — **Streißler**: Darstellende Geometrie, 3. — **Hillebrand**: Theorie der Rotation der Himmelskörper, 3; Bahnbestimmung der Planeten und Kometen, 2. —

Universität Hamburg.

Koch: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 4; Physikalisches Praktikum (mit Goos und Müller), 4; Physikalische Übungen für Fortgeschrittene und Anleitung zu selbständigen Arbeiten (mit Classen), tägl. — **Classen**: Einführung in die theoretische Physik: Elektrodynamik, 4. — **Jensen**: Ausgewählte Kapitel aus der atmosphärischen Optik, 1. — **Voege**: Elektrische Meßkunde, einschließlich Photometrie, 1. —

Rabe: Allgemeine Experimentalchemie I; Anorganische Chemie, 4, Chemisches Praktikum im analytischen Laboratorium (mit Paneth): Voll- und Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend, Medizinerhalbpraktikum, 3; Chemisches Praktikum im organischen Laboratorium und Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen, tägl. außer Sonnabend. — **Paneth**: Analytische Chemie, I, 2; Spezielle anorganische Chemie, 2. — **Voigtländer**: Technische Chemie und ihre Beziehungen zur Volks- und Weltwirtschaft, 1 *g*; Chemie der Nahrungs- und Genußmittel I, 2; Praktische Übungen auf dem Gebiete der gerichtlichen Chemie, mit Besprechungen I: Toxikologie (mit Göhlich), nach Verabredung. — **Göhlich**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 2. — **Ehrenstein**: Chemische Übungen im Untersuchen und Beurteilen von Fetten und Ölen, 3. —

Radon: Differentialrechnung, 4, Übungen, 2; Differentialgleichungen, 2. — **Hecke**: Zahlentheorie, 4; Mathematische Behandlung der kinetischen Gastheorie, 4; Seminar: Über höhere Zahlentheorie, 2 *g*. — **Blaschke**: Projektive Geometrie, 4; Allgemeine Mechanik, 4, Übungen, 1 *g*; Mathematisches Seminar (mit Radon), 2 *g*. — **Riebesell**: Differential- und Integralrechnung II, 2, Übungen, 2 *g*; Die Grundlagen der mathematischen Statistik, 1 *g*. — **Schorr**: Sphärische Astronomie II, 2; Allgemeine Astronomie, 2. — **Schwassmann**: Einführung in die Astrophysik, 1. — **Dolberg**: Theorie der Planetenbewegung, 2. — **Graff**: Einführung in die Geodäsie I, theoretischer Teil: Basismessung, Triangulation, Netzentwürfe der Landesaufnahmen, 2. — **Tams**: Erdbeben, Erdmagnetismus, Konstitution des Erdkörpers, 2. — **Wegener**: Die Erforschung der oberen Luftschichten mit Drachen und Ballonen: Aerologie, 1. —

Universität Heidelberg.

Lenard: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 4; Physikalisches Praktikum (mit Becker und Ramsauer), 6; Physikalisches Seminar, 1 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten Fortgeschrittener im physikalischen und radiologischen Institut (mit Becker und Ramsauer), tägl. außer Sonnabend. — **Becker**: Theoretik der Elektrizität und des Magnetismus, 4; Theorie der Strahlung und Quantentheorie, 1; Theoretisch-physikalische Übungen, 1 *g*. — **Ramsauer**: Radiologie mit Demonstrationen: Der Aufbau der Materie, 2. — **Schmidt**: Photographische Kurse für Anfänger und Vorgeschrittene, 2. —

Curtius: Experimentalchemie II: Organische Verbindungen, 4; Chemisches Praktikum für Anfänger und für Geübtere in anorganischer, organischer, physikalischer, analytischer und pharmazeutischer Chemie (mit Knoevenagel, Trautz, Stollé, Muckermann, Müller und Wilke), tägl. außer Sonnabend, auch für Lehramtskandidaten, für Mediziner, 4. — **Krafft**: Anorganische Chemie, 4; Praktisch-chemische Übungen und Arbeiten im Laboratorium, tägl. außer Sonnbend; Chemisches Anfängerpraktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Knoevenagel**: Chemie der Benzolderivate, 3; Chemie und Technologie der Teerfarbstoffe, 2; Praktische Anwendung organischer Farbstoffe in der Färberei und Druckerei, 4—6 Wochen. — **Trautz**: Physikalische Chemie: Elektrochemie, Thermochemie, Molekulartheorie, chemische Gleichgewichte, 3, Übungen, 1; Grundbegriffe der Chemie mit Experimenten, 2; Physikalisch-chemisches Kolloquium, 2; Praktische Einführung in die physikalische und Elektrochemie, 4—6 Wochen. — **Stollé**: Qualitative Analyse, 2; Pharmazeutische Chemie II, organischer Teil, 3. — **Mohr**: Die Theorien der organischen Chemie, 1. — **Muckermann**: Nahrungsmittelchemie, 2; Analytische Methoden offizineller Arzneimittel, 2; Wasser- und Harnanalyse; 2; Praktische Einführung in die Nahrungsmittelchemie. — **Müller**: Metalle, 2; Gasanalyse und Gasvolumetrie, 1, Praktische Übungen, 2. — **Wilke**: Einführung in die mathematische Behandlung der Chemie, mit Übungen, 2. —

Stäckel: Krumme Linien und Flächen, 3; Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 1; Mathematisches Oberseminar (mit Perron), 2. — **Perron**: Partielle Differentialgleichungen, 4; Theorie der divergenten Reihen, 2. — **Koehler**: Raumkurven dritter Ordnung: Kubische Kegelschnitte, 2. — **Pfeiffer**: Darstellende Geometrie II, 3, Übungen, 2; Analytische Geometrie der Ebene, 4. — **Wolf**: Kapitel aus der Fixsternastronomie, 2 *g*. — **Kopff**: Relativitätstheorie, 2. — **Bopp**: Mengenlehre, 1. —

Universität Innsbruck.

Schweidler: Experimentalphysik I, 4; Einführung in die messende Physik I, 1; Die Strahlung radioaktiver Stoffe, 1 *g*; Physikalisches Praktikum für Lehramtskandidaten, 6; Wissenschaftliche Arbeiten für Vorgeschrittene, tägl., *g*. — **Lerch**: Physik für Pharmazeuten, 5. — **Tumlirz**: Theoretische Optik, 5; Übungen im mathematisch-physikalischen Seminar, 2 *g*. — **March**: Kinetische Gastheorie, 1. — **Hammerl**: Elektrotechnik I; Gleichstrom, 2 *g*. —

Brunner: Allgemeine Chemie I: Anorganische Chemie, 5; Praktische Übungen im chemischen Laboratorium, tägl. außer Sonnabend. — **Hopfgartner**: Kolloidchemie, 2; Theoretische Grundlagen der analytischen Chemie, 2; Maßanalyse, 1. — **Zehenter**: Einführung in die chemische Technologie, 2 *g*. —

Gmeiner: Algebra, 3; Differentialgeometrie II: Raumkurven und Flächen, 2; Übungen im mathematischen Seminar, 2 *g*. — **Zindler**: Differentialrechnung und Integralrechnung, 5, Übungen, 2 *g*. — **Menger**: Darstellende Geometrie I, 2; Zeichenübungen, 1 *g*. — **Scheller**: Bahnbestimmung der Kometen und Planeten, 4; Präzession, Nutation und Polhöhenschwankung, 1. —

Universität Jena.

Wien: Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Optik, 4; Physikalisches Kolloquium, *g*; Physikalisches Praktikum (mit Pauli): für Mathematiker und Physiker, 6, für Chemiker und Pharmazeuten, 2, für Mediziner, 3; Leitung physikalischer Spezialuntersuchungen (mit Auerbach, Straubel und Pauli), tägl. — **Pauli**: Experimentalphysik IV: Elektrizität, Magnetismus, Optik, für Fortgeschrittene, 2. — **Auerbach**: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 4; Grundzüge der Wetterkunde, 2; Die Grundlagen der Musik, mit Demonstrationen und Experimenten, 2; Einführung in die höhere Mathematik für Nichtmathematiker, 2. — **Straubel**: Abbildungstheorie II, 1. — **Rogowski**: Einführung in die Elektrotechnik, 2; Elektrotechnische Meßkunde; Die Maxwellsche Theorie der Elektrizität und ihre technischen Anwendungen; Elektrotechnisches Praktikum, für Anfänger, 2, für Fortgeschrittene. — **Ambronn**: Einführung in die Theorie des Mikroskops, mit Übungen, 2; Mikrophotographie und Projektion, 1. —

Knorr: Allgemeine Experimentalchemie II: Organische Chemie, 3; Chemisches Seminar für Lehramtskandidaten (Übungen im Vortragen, Vorlesungsversuche

und Darstellung von Präparaten), 3; Chemisches Praktikum im analytischen Laboratorium: a) Vollpraktikum, 30, b) Halbpraktikum, 15, c) Mediziner-Vollpraktikum, 6, d) Mediziner-Halbpraktikum, 3, im organischen Laboratorium: Darstellung von Präparaten und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Schneider), 40. — **Kaufmann**: Gasanalyse, mit Übungen, 1; Geschichte der Chemie, 1; Chemisches Repetitorium, 3. — **Schneider**: Neuere Theorien der Chemie, 1. — **Vongerichten**: Chemische Technologie, anorganischer Teil, 2; Färberei- und Druckereikursus, halb- und ganztägig; Technische Chemie für Nationalökonomen, 2; Technisch-chemisches Praktikum für Nationalökonomen. — **Immendorff**: Grundzüge der anorganischen und organischen Chemie (Experimentalchemie), für Landwirte, 5; Technische Chemie für Landwirte, 1; Großes chemisches Praktikum für Landwirte, tägl.; Kleines chemisches Praktikum für Landwirte, 7; Agrikulturchemisches Seminar für Fortgeschrittene, 14 tägig, 2. — **Keller**: Pharmazeutische Chemie I: Anorganische Chemie, 3; Untersuchung von Trinkwasser, Chemie und Untersuchung des Harns, 2; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum: a) Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend, b) Ganzpraktikum, Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. außer Sonnabend, c) Nahrungsmittelchemisches Ganzpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Vorlesungen und Übungen über Keimfreimachung von Arznei- und Verbandmitteln, 3. — **Hirsch**: Die Fermente und ihre Wirkungen, 2; Kolloquium über biochemische Fragen, für Fortgeschrittene, *g*. —

Haußner: Zahlentheorie, 4; Flächentheorie, 5; Differential- und Integralrechnung II, mit Übungen, 5; Proseminar: Anwendungen der Differentialrechnungen auf Geometrie, 2 ev. 3; Seminar: Flächentheorie, 2. — **Koebe**: Analytische Geometrie des Raumes und Determinanten, 4; Allgemeine Funktionentheorie und elliptische Funktionen, 4; Proseminar: Analytische Geometrie, 1; Seminar: Funktionentheorie, 1 *g*. — **Winkelmann**: Graphische Statik, 2, Übungen, 2; Probleme der Mechanik, 2; Vektoranalysis mit Anwendungen und Übungen, 4. — **Knopf**: Bahnbestimmungen der Kometen und Planeten, 3; Wahrscheinlichkeitsberechnung und Methode der kleinsten Quadrate, 3. —

Technische Hochschule Karlsruhe.

Gaede: Physik, 4; Physikalisches Laboratorium (mit Schachenmeier), 6; Seminar für Experimentalphysik (mit Schachenmeier), 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im physikalischen Laboratorium, nach Vereinbaruug. — **Schachenmeier**: Mathematische Physik, 3; Repetitorium der Physik, 2; Optik, 2. — **Peppler**: Meteorologie: Klimatologie, 1. — **Richter**: Elektromaschinenbau I, 5; Übungen im Konstruieren elektrischer Maschinen und Apparate, 4; Elektrotechnisches Laboratorium I, 3, II, 6, für Vorgeschrittene (mit Schleiermacher, Schwaiger und Hausrath), 8; Exkursionen zur Besichtigung elektrischer Anlagen, nach Vereinbarung. — **Schleiermacher**: Grundlagen der Elektrotechnik und Meßkunde, 3; Theoretische Elektrizitätslehre, 3; Elektrotechnisches Laboratorium I, 6 und 3. — **Schwaiger**: Elektromotorische Betriebe, einschließlich Bahnen, 2; Elektrische Kraftwerke und Schaltanlagen, 2; Schalt- und Regulierapparate, 1; Hochspannungstechnik, 1, Übungen, 2; Exkursionen zur Besichtigung elektrischer Anlagen, nach Vereinbarung. — **Teichmüller**: Allgemeine Elektrotechnik, 2; Elektrotechnisches Seminar, 2; Übertragung und Verteilung elektrischer Energie: Leitungen, 2, Übungen, 2; Energieversorgung des Landes, 1; Besichtigung elektrischer Anlagen, nach Vereinbarung. — **Hausrath**: Drahtlose Telegraphie, 2; Schwachstromtechnik, 2; Theoretische Telegraphie I, 1; Besichtigung von Schwachstromanlagen, nach Vereinbarung. — **Thomälen**: Theorie der Wechselströme, 2, Übungen, 2. — **Schmidt**: Photographische Kurse, für Anfänger und Vorgeschrittene, 2; Ausflüge, 1 Nachmittag; Erklärung des zur Herstellung von Abbildungen in Betracht kommenden wichtigsten photomechanischen Illustrationsverfahren, 3 bis 4 *g*. —

Pfeiffer: Anorganische Experimentalchemie, 4; Organisch-chemisches Kolloquium (mit Franzen), 1; Spezielle Kapitel der allgemeinen Chemie, 1; Chemisches Laboratorium, tägl. außer Sonnabend. — **Bredig**: Physikalische Chemie I, 2; Überblick über die theoretische und technische Elektrochemie, 3; Physikalisch-chemisches und elektrochemisches Kolloquium für Vorgeschrittene, 2; Physikalisch-chemisches und elektrochemisches Laboratorium, tägl. außer Sonnabend; Physikalisch-chemischer und elektrochemischer Einführungskurs. — **Franzen**: Organische Chemie II, 2; Organisch-chemisches Kolloquium, 1; Theorien der organischen Chemie, 1; Organisch-chemisches Seminar, 2. — **v. Antropoff**: Radioaktivität und Atombau, nach Vereinbarung. — **Askenasy**: Prozesse der elektrochemischen Großindustrie II und Bau und Betrieb der Akkumulatoren, 2. — **K. Bunte**: Wärmetechnik der Gaserzeugung und Gasverwendung, 2; Chemisch-technische Arbeiten auf dem Gebiete des Gasfaches. — **Dieckhoff**: Organische pharmazeutische Chemie, 2; Gerichtliche Chemie, 2. — **Eitner**: Chemische Technologie I, 2, II, 2; Methoden der technischen Analyse, 2, Übungen, 4; Ausgewählte Kapitel der technischen Analyse, 1, Übungen, 3; Übungen in der technischen Analyse für Vorgerücktere, tägl.; Spezielle Technologie der Gasbeleuchtung I, 1, Übungen, 4; Gaschemische Übungen, 2; Arbeiten im chemisch-technischen Laboratorium, tägl. außer Sonnabend; Technologische Exkursionen. — **Hess**: Arbeitsmethoden der organischen Chemie, 2; Heterozyklische Verbindungen, 2; Alkaloide, 1. — **Koenig**: Kolloidchemie, 2. — **Kreutz**: Die alkoholhaltigen Genußmittel, 1. — **Lembert**: Analytische Chemie II, 2. — **Reis**: Photochemie I; Strahlungslehre, 2; Kristallstruktur und Konstitution der Materie, 1. — **Rupp**: Über Nahrungs- und Genußmittel, 1; Chemische und mikroskopische Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln sowie Gebrauchsgegenständen, 2. — **Terres**: Chemie der Gase, 2; Wiederholungskurs der chemischen Technologie, 4. — **Thies**: Chemie der Faserstoffe und Farbstoffe I, 2, Übungen (mit Lindner), 2. — **Ubbelohde**: Industrie der Fette und Harze, 2. —

Krazer: Höhere Mathematik I, 6, Übungen, 2. — **Böhm**: Höhere Mathematik III, 3, Übungen, 2; Mathematisches Seminar (mit Baldus), 1 *g*. — **Baldus**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 4. — **Heun**: Mechanik I, 4, Übungen, 2; Mechanisches Seminar: 3 *g*. — **Brandt**: Elementare und analytische Geometrie der Ebene und des Raumes I, 2, Übungen, 1; Graphische und numerische Differentiations- und Integrationsmethoden, 2, Übungen, 1. — **Haupt**: Übungen in den Grundlehren der höheren Mathematik, 2; Arithmetik und Algebra, 2, Übungen, 1; Ebene und sphärische Trigonometrie, 2, Übungen, 1. — **Noether**: Elemente der Mechanik, 3, Übungen, 1; Mechanische Probleme im Flugwesen, 2. — **Näbauer**: Praktische Geometrie, 3; Höhere Geodäsie, 3; Geodätisches Praktikum I, 2, III, 3; Methode der kleinsten Quadrate, 2. — **Merkel**: Repetitorium, 2; Plan- und Terrainzeichnen, 1, 2 und 4; Ausarbeitung der großen geodätischen Exkursion, 2. — **Stutz**: Katastervermessung und Feldreinigung, 2, Übungen, 2. —

Universität Kiel.

Dieterici: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 8 und 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **Zahn**: Repetitorium der theoretischen Physik, 3, Einführung in die kinetische Gastheorie, 1. — **Martienssen**: Einführung in die Elektrotechnik, 2. — **Schmidt**: Einführung in die physikalischen Meßmethoden, mit Experimenten, 2. —

Diels: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum I, anorganische Abteilung (mit Mumm), tägl. außer Sonnabend, II, organische Abteilung, tägl.; Kolloquium über neuere chemische Arbeiten (mit Feist, Mumm, Horrmann, Preuner und Freudenberg), 1½ *g*. — **Feist**: Allgemeine Warenkunde, 2; Chemische

Technologie der Metalle: Metallurgie, 2. — **Mumm**: Chemie der Metalle, 3. — **Horrmann**: Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Praktische Übungen im Untersuchen von Nahrungs- und Genußmitteln, 4; Pharmazeutische Chemie, anorganischer Teil, 3; Zusammensetzung und Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln, 2. — **Stoehr**: Ausgewählte Kapitel der organischen Chemie, 1. — **Preuner**: Einführung in die Elektrochemie, 2; Elektrochemische Übungen, 4. — **Freudenberg**: Herstellung organisch-chemischer Präparate, 2; Pflanzenstoffe, 1. —

Jung: Analytische Geometrie II, mit Übungen, 4; Elementarmathematik vom höheren Standpunkt, 3; Seminar für Fortgeschrittene, 1 *g*. — **Harzer**: Fehlertheorie und Ausgleichungsrechnung, 3; Differenzenrechnung, 1 *g*. — **Kobold**: Höhere Geodäsie, 2; Geodätische Übungen, nach Vereinbarung, *g*. — **Toeplitz**: Differential- und Integralrechnung II, 4, Übungen, 2; Übungen für mittlere Semester, 2; Seminar für Fortgeschrittenere, nach Vereinbarung, *g*. — **Wirtz**: Photometrie der Gestirne, 2; Geschichte der griechischen Astronomie, 1 *g*. — **Neuendorff**: Darstellende Geometrie, mit Übungen, 1, 6; Vorträge und Übungen zur angewandten Mathematik, 1 *g*. —

Universität Leipzig.

Wiener: Experimentalphysik II: Licht, Magnetismus, Elektrizität, 5, Mathematische Ergänzungen, 2; Selbständige physikalische Arbeiten für Vorgeschrittene (mit Scholl), tägl.; Physikalische Übungen (mit Jaffé), 1, 2 oder 3 Halbtage, für Mediziner und Pharmazeuten (mit Scholl und Jaffé), 3; Physikalisches Kolloquium (mit Des Coudres), 2 *g*. — **Des Coudres**: Einleitung in die theoretische Physik, 4, Übungen, 1 *g*; Selbständige physikalische Arbeiten für Vorgeschrittene (mit Fredenhagen), tägl. — **Scholl**: Praktikum der Wechselstrom- und Hochfrequenztechnik, mit Einschluß der drahtlosen Telegraphie, 2; Experimentalphysik für Zahnärzte, 4. — **Jaffé**: Einführung in die Hydrodynamik, 1. — **Wenger**: Meteorologie, 3; Einführung in die Bearbeitung geophysikalischer, besonders meteorologischer Beobachtungen, 2, Übungen, 2 *g*; Selbständige Arbeiten im Geophysikalischen Institut, tägl.; Geophysikalisches Kolloquium, 2 *g*. — **Marx**: Die wesentlichsten Grundgleichungen der theoretischen Physik und ihre Anwendungen, 2. — **Fredenhagen**: Einführung in die Elektrotechnik mit Besichtigungen großer industrieller Anlagen, 2; Repetitorium der Maxwellschen Theorie, 1 *g*. — **Haas**: Theorie der Molekularerscheinungen, 1. — **Lilienfeld**: Hochvakuumentladung und Röntgenstrahlen, 1 *g*. —

Hantzsch: Organische Experimentalchemie, 5; Analytisch- und anorganisch-chemische Übungen (mit Schaefer), auch für Anfänger, tägl.; Organisch-chemische Übungen (mit Reddelien), tägl.; Chemische Übungen für Mediziner und Zahnärzte (mit Schaefer), 6, für Fortgeschrittene (mit Stobbe, Rassow, Schaefer und Reddelien), tägl. — **Le Blanc**: Physikalische Chemie I, 4; Chemische Übungen: Analytische und präparative, anorganische und organische Arbeiten, für Anfänger und Fortgeschrittene (mit Böttger), tägl.; Physikalisch-chemische Übungen: Photochemisch-photographische (mit Weigert), elektro-chemische und kolloidchemische (mit Drucker und Ostwald), ganztägig, für Anfänger auch halbtägig, tägl.; Physikalisch-chemischer Einführungskurs, auch für Mediziner, auf Wunsch Darstellung elektrochemischer Präparate (mit Schall und Drucker), 4 oder 8. — **Paal**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Chemische Übungen, analytisch-anorganisch und organisch, auch für Anfänger (mit Heller und Deußen), tägl.; Chemische Arbeiten für Vorgerücktere (mit Heller, Deußen und Scheiber), tägl.; Pharmazeutisch-chemisch-toxikologische Übungen (mit Deußen), tägl.; Arbeiten auf dem Gebiete der Nahrungsmittelchemie (mit Deußen), tägl.; Chemische Übungen für Mediziner und Zahnärzte, 6; Chemisch-technische Übungen (mit Heller), tägl. — **Stobbe**: Heterozyklische Verbindungen mit besonderer Berücksichtigung der Alkaloide, 2; Mehrkernige aromatische Verbindungen: Gruppe des Diphenyls, der Polyphenylmethane, des Naphthalins, Anthracens usw., 1. — **Wagner**: Experimentelle Einführung in die Chemie auf physikalischer Grundlage, 2; Chemische Übungen für Lehrer; Schulversuche, Analyse und Präparate, tägl., Didaktische Besprechungen für Lehrer: Elektrochemie, 1 *g*, über Stoffwandlung und Arbeitsleistung, 1 *g*. — **Rassow**: Chemische Technologie, organische Betriebe: Zucker, Stärke, Gärungsgewerbe, Fette und Öle, 2; Technologische Ausflüge, nach Vereinbarung, *g*; Chemie und Technologie der Teerfarbstoffe, 2; Technische Gasanalyse, mit praktischen Übungen, 1; Die deutschen Salze: Kochsalze, Kali-, Magnesia- und Kalksalze, 1 *g*; Chemisch-technologische Übungen, ganz- oder halbtägig. — **Weigert**: Photochemie I (allgemeiner Teil), 2; Physikalische Chemie, 2; Photochemische, photographische, spektroskopische Übungen, 4. — **Schall**: Die Elektrosynthese organischer Verbindungen, 1. — **Böttger**: Wissenschaftliche Grundlagen der analytischen Chemie: Übersicht über das Gesamtgebiet der qualitativen und quantitativen Analyse, 2. — **Heller**: Chemie und technische Chemie, organischer Teil, 2. — **Drucker**: Physikalisch-chemische Arbeitsmethoden, 2. — **Schaefer**: Spezielle anorganische Chemie I, mit Versuchen, 2; Die Entwicklung der Atomtheorie, 1. — **Scheiber**: Organisch-chemische Theorien, 1. — **Ostwald**: Experimentelle Kolloidchemie, 2. — **Deußen**: Einführung in den Gebrauch des Deutschen Arzneibuchs, im Anschluß an die pharmazeutisch-chemischen Übungen, kursorisch, nach Vereinbarung; Sterilisationsübungen mit Prüfung auf Keimfreiheit, nach Vereinbarung. — **Reddelien**: Die Arbeitsmethoden in der organischen Chemie, 1. — **Wilke**: Einführung in das Maschinenwesen, 1; Maschinenzeichnen (Übungen), 1; Neuere Verbrennungsmaschinen, 1. —

Hölder: Elliptische Funktionen, 4; Variationsrechnung, 2; Mathematisches Seminar: Übungen für Vorgeschrittene in der Funktionentheorie, 2 *g*. — **N. N.**: Sphärische Astronomie, 4; Praktische Arbeiten in der Sternwarte, nach Vereinbarung, *g*. — **Rohn**: Analytische Geometrie des Raumes, 4, Übungen, 1 *g*; Determinanten, 2. — **Herglotz**: Mechanik, 5; Zahlentheorie: Quadratische Zahlkörper, 3, Übungen, nach Vereinbarung, *g*. — **Schnee**: Differential- und Integralrechnung, 4 und 14 tägig, 2, Übungen, 14 tägig, 2 *g*; Algebraische Gleichungen II, 3. — **Levi**: Flächen und Raumkurven, 3, Übungen, nach Vereinbarung, *g*; Nichteuklidische Geometrie, 2. —

Universität München.

Röntgen: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Optik, 5; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Praktische Übungen im Physikalischen Laboratorium (mit Wagner), 4. — **Sommerfeld**: Optik, 4; Seminar, Vorträge der Mitglieder (mit Lenz und Ewald), 2 *g*; Atombau und Spektrallinien, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, halbtägig. — **Graetz**: Experimentalphysik I: Einleitung, Wärme, Elektrizität, 5; Physikalisches Praktikum: a) Übungen in physikalischen Messungen, b) Übungen in physikalischen Demonstrationen, 4; Einleitung in die theoretische Physik I, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten aus der Physik, nach Vereinbarung, *g*. — **Schmauß**: Meteorologie und Klimatologie, 4; Meteorologisches Kolloquium, Repetitorium, 1 *g*. — **Wagner**: Spektralanalyse der Röntgenstrahlen, 1. — **Donle**: Physikalische Maße und Meßmethoden, 2. — **Lenz**: Kinetische Gastheorie mit besonderer Berücksichtigung der Brownschen Bewegung, 3. — **Ewald**: Dynamik der Kristallgitter: Atomistik der festen Körper, 3. —

Willstätter: Unorganische Experimentalchemie, 5; Organisch-chemisches Kolloquium (mit Dieckmann, Kalb, Meyer und Pummerer), 1 *g*; Praktische Arbeiten im Chemischen Laboratorium, unorganische Abteilung (mit Hönigschmid, Prandtl und Vanino), tägl. außer Sonnabend, organische Abteilung (mit Meyer und Dieckmann), tägl., physikalisch-chemische Abteilung (mit Fajans), tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner

(mit Vanino), 4; Arbeiten im Chemischen Laboratorium für fortgeschrittenere Mediziner, halb- oder ganztägig; Physikalisch-chemisches Praktikum (mit Fajans), 1. — **Paul**: Organische Chemie mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendung, 5; Lebensmittelchemie II, 2; Pharmazeutisch-chemische Präparatenkunde, anorganische Präparate, 3; Chemisches Praktikum: Praktische Übungen einschließlich physikalisch-chemischer, elektrochemischer und lebensmittelchemischer Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum: Praktische Übungen, einschließlich der Übungen in den für den Apotheker wichtigen Sterilisationsverfahren, tägl. außer Sonnabend; Übungen für praktische Apotheker, nach Vereinbarung. — **Hönigschmid**: Analytische Chemie II, 3; Elektrolytisches Praktikum, ganztägig; Kolloquium für physikalische und anorganische Chemie (mit Prandtl und Fajans), $1^1/_2$ g. — **Prandtl**: Spezielle unorganische Experimentalchemie II, 5—8; Gruppe des periodischen Systems, 4; Praktikum für Gasanalyse, 4. — **Meyer**: Chemie der Benzolderivate, 4. — **Dieckmann**: Chemie der Kohlehydrate, 1. — **Fajans**: Physikalische Chemie II, 2; Elektrochemie, 2. — **Pummerer**: Chemische Technologie I; Anorganische Großindustrie (ohne Metallurgie), mit Exkursionen, 2. — **Kalb**: Repetitorium über organische Chemie (Kolloquium), 1. — **Bleyer**: Neuere Arzneimittel mit besonderer Berücksichtigung der Chemotherapie, 2. —

Lindemann: Analytische Geometrie der Ebene, 4; Analytische Mechanik, 4; Über die Grundlagen der Geometrie, 2; Übungen und Vorträge im mathematischen Seminar, $1^1/_2$ g. — **Voß**: Differentialgeometrie der Kurven und Flächen, 4; Einleitung in die Theorie der partiellen Differentialgleichungen, 4; Mathematisches Seminar, 2 g. — **Pringsheim**: Elemente der Funktionentheorie, 4; Theorie der elliptischen Funktionen, 4. — **Brunn**: Elemente der höheren Mathematik, 4. — **Hartigs**: Synthetische Geometrie, 5, Übungen, 1. — **Böhm**: Integralrechnung mit Übungen, 5; Elemente der Versicherungsrechnung, 2. — **Dingler**: Lektüre und Besprechung ausgewählter Stücke aus alten und neueren Klassikern der Mathematik und der exakten Wissenschaften, 2 g. — **Rosenthal**: Differentialrechnung, 4, Übungen, 1; Einführung in die Mengenlehre, 1; Theorie und Praxis der geometrischen Konstruktionen, 2. — **v. Seeliger**: Potentialtheorie und die Figur der Himmelskörper, 4; Astronomisches Kolloquium, 1 g. — **Großmann**: Sphärische Astronomie, 3. —

Universität Tübingen.

Paschen: Experimentalphysik: Akustik, Wärme, Magnetismus, Elektrizität, 5; Physikalische Anfängerübungen, 4, Wissenschaftliche Untersuchungen, ganztägig. — **Füchtbauer**: Theorie des Lichtes, 3, Seminar, 1. — **Rohmann**: Elektronen, mit Versuchen, 1. —

Wislicenus: Allgemeine Chemie I: Anorganische Chemie, 5, Ergänzungen, 1 g; Praktische Übungen im chemischen Laboratorium für Anfänger und Fortgeschrittene, tägl.: a) Analytisch-chemisches Praktikum (mit Bülow und Weinland), b) Chemisch-pharmazeutisches Praktikum (mit Weinland), c) Präparative Arbeiten (mit Kliegl), d) Physikalisch-chemische Übungen (mit Magnus), e) Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten (mit Bülow, Weinland, Kliegl und Magnus). — **Thierfelder**: Organische Chemie für Mediziner, 4; Praktisch-chemische Übungen für Anfänger (mit Brigl) I: Qualitative Analyse, 6, II: Quantitative Analyse und physiologisch-chemische Übungen, 6; Physiologisch-chemische Übungen, 2; Physiologisch-chemische Arbeiten für Geübtere, tägl. — **Bülow**: Analytische Chemie I mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Arbeiten, 3; Ausgewählte Kapitel aus der anorganischen und organischen Großindustrie, 2; Anorganische Elementarchemie mit besonderer Berücksichtigung technologisch wichtiger Prozesse, 2. — **Weinland**: Chemie der Arzneistoffe, anorganischer Teil, 2; Chemie der Nahrungsmittel, 1; Nachweis von Giften für gerichtliche Zwecke, 1; Maßanalyse: Ionentheorie, 1; Vergleichung der Elemente an der Hand des periodischen Systems, 1. — **Kliegl**: Umwandlung der Elemente, Kolloide, Nutzbarmachung des Luftstickstoffs, 1; Karbozyklische Verbindungen I: Einkernige Verbindungen, 3. — **Magnus**: Theoretische Chemie: Thermochemie und Elektrochemie, 2; Physikalisch-chemisches Kolloquium, 1. — **Brigl**: Anorganische Chemie für Mediziner, 2; Die chemische Erforschung der Naturfarbstoffe, 1. —

Maurer: Niedere Analysis, 4; Funktionentheorie, 3; Übungen im mathematischen Seminar, 2. — **N. N.**: Analysis II: Integralrechnung, 4; Übungen im mathematischen Seminar, 2. — **König**: Synthetische Geometrie, 4; Mathematisches Seminar, 2; Einführung in die Theorie der algebraischen Kurven, 3. — **Happel**: Analytische Geometrie der Ebene, 3, Übungen, 1; Sphärische Trigonometrie mit Anwendungen, $2^1/_2$, Übungen, 1. — **Rosenberg**: Leitung selbständiger astronomischer und astrophysikalischer Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Allgemeine Himmelskunde mit Lichtbildern und Demonstrationen, 2; Theorie und Anwendung astronomischer Instrumente, 1. —

Angebote.

Gesucht ein

Physiker oder Chemiker

mit maschinentechnischen Erfahrungen für größeres Werk in Berlin. Offerten Nichtpromovierter zwecklos. Ausführliche Angaben mit Bild unter **S. H. 554** an den Verlag der Physikalischen Zeitschr. (S. Hirzel) in Leipzig, Königstr. 2.

Assistent gesucht.

Das Physikalische Institut der Technischen Hochschule Stuttgart sucht **promovierten Physiker** als Praktikumsassistenten. Eintritt sofort. Angebote mit Gehaltsforderung, Lebenslauf und Referenzen erbeten an Prof. **Veesenmeyer, Stuttgart,** Gerokstaffel 1.

Gesuche.

Promovierter Physiker

mit besonderer Erfahrung auf dem Gebiete der Hochfrequenz und der Röntgentechnik sucht sofortige Stellung möglichst in der Industrie. Zuschriften unter **S. H. 555** erbeten an den Verlag der Physikalischen Zeitschrift (S. Hirzel) in Leipzig, Königstraße 2.

Für die Schriftleitung verantwortlich Professor Dr. P. Debye in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.